

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Кафедра высоковольтной электрофизики и силовоточной электроники

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование воздействия импульсного электронного пучка на модифицированный дозиметр Фрикке</b>

УДК \_\_\_\_\_

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры экспериментальной физики ТПУ, заведующий лабораторией № 1 ИФВТ	Ремнев Геннадий Ефимович	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. Менеджмента	Гаврикова Надежда Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Н.А. Ратахин	д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН		

Томск – 2016

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроника и нанoeлектроника

#### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Для разработки проекта потребуются следующие ресурсы: материально-технические ресурсы (цены на материалы и оборудование); финансовые ресурсы для оплаты труда исполнителям проекта (районный коэффициент для Томска, коэффициент дополнительной зарплаты); человеческие ресурсы (руководитель, эксперт, исполнитель проекта).
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Предпроектный анализ. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование управления научно-техническим проектом. Иерархическая структура работ проекта. Контрольные события проекта. План проекта. Бюджет научного исследования. Матрица ответственности.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Итоговая матрица SWOT-анализа
2. Иерархическая структура проекта
3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. Менеджмента	Гаврикова Надежда Александровна		

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		

## Запланированные результаты обучения по программе

Код ре- зультата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
Р 1	Способность демонстрировать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания физико-химических и технологических основ получения и использования сильноточных электронных и ионных пучков, потоков плазмы, и применять их для решения научных и инженерных задач наукоемкого производства на мировом уровне
Р 2	Способность воспринимать, обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, применять передовой отечественный и зарубежный опыт в научно-исследовательской и проектно-технологической деятельности
Р 3	Способность применять полученные знания для решения нечетко определенных инженерных задач, стоящих перед производством в области внедрения новейших технологий, и использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов проектирования при решении конкретных производственных задач, связанных с использованием передовых технологий
Р 4	Способность планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своей специализации с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе, уметь критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы, использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности.
Р 5	Способность интегрировать знания раз личных и смежных видов деятель-

	ности и решать задачи, требующие абстрактного мышления и оригинальности анализа для концептуализации инженерных моделей выбранного технологического направления
Р 6	Способность оценивать экономическую эффективность новых разработок и их инновационную направленность, выполнять требования по защите окружающей среды
<b><i>Универсальные компетенции</i></b>	
Р 7	Способность к самообучению и постоянному профессиональному самосовершенствованию в условиях автономии и самоуправления.
Р 8	Способность эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также эффективно функционировать в качестве лидера группы в фундаментальных и прикладных исследованиях по поиску новых областей применения технологий, в опытно - конструкторских разработках.
Р 9	Способность владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально - экономических различий.
Р 10	Способность всестороннее оценивать используемые методы, области их применения, демонстрируя понимание вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
Р 11	Готовность следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной и инженерной деятельности

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой ВЭСЭ  
\_\_\_\_\_  
(Подпись)      \_\_\_\_\_ Н.А. Ратахин  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Ходжамкуловой Шохистахон Рустамовны

Тема работы:

<b>Исследование воздействия импульсного электронного пучка на модифицированный дозиметр Фрикке</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2823/с от 14.04.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Литературные данные, методические рекомендации, техническая документация.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Аналитический обзор литературы, постановка цели и задач исследования, выбор метода исследования, разработка модели, оценка и анализ результатов исследования, составление разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность», выводы по исследовательской работе.</p>

<b>Перечень графического материала</b>	План эвакуации людей при пожаре и других ЧС из помещений Лаборатории №1 ИФВТ НИ ТПУ
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Старший преподаватель кафедры Менеджмента Гаврикова Надежда Александровна
«Социальная ответственность»	Профессор, д.т.н., Федорчук Юрий Митрофанович
Иностранный язык	Старший преподаватель Квашнина Ольга Сергеевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИФВТ  
Направление подготовки (специальность) 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника»  
Уровень образования магистратура  
Кафедра ВЭСЭ  
Период выполнения весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
31.10.14	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач. Выбор объектов и методов исследования	5
15.02.15	Анализ литературы по теме магистерской диссертации. Сбор информации об исследуемом объекте. Изучение методики трехвалентного железа	15
13.05.15	Исследования в период прохождения научно-исследовательской практики: проведение химического анализа, трехвалентного железа, определение концентрации	20
19.10.15	Проведение экспериментов по определению концентрации трехвалентного железа и анализ полученных результатов	20
28.03.16	Оценка и анализ полученных результатов эксперимента для определения поглощенной дозы энергии в модифицированном дозиметре Фрикке. Оформление полученных результатов, написание текста диссертации	30
01.06.16	Оформление текста магистерской диссертации и выкладывание в личном кабинете для утверждения руководителем	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры экспериментальной физики ТПУ, заведующий лабораторией №1	Г.Е.Ремнёв	д.т.н., профессор		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Н.А. Ратахин	д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ- РЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна

Институт	ИФВТ	Кафедра	ВЭСЭ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Электроника и нанoeлектроника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Для разработки проекта потребуются следующие ресурсы: материально-технические ресурсы (цены на материалы и оборудование); финансовые ресурсы для оплаты труда исполнителям проекта (районный коэффициент для Томска, коэффициент дополнительной зарплаты); человеческие ресурсы (руководитель, эксперт, исполнитель проекта).
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Предпроектный анализ. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование управления научно-техническим проектом. Иерархическая структура работ проекта. Контрольные события проекта. План проекта. Бюджет научного исследования. Матрица ответственности.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Итоговая матрица SWOT-анализа
2. Иерархическая структура проекта
3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. Менеджмента	Гаврикова Надежда Александровна		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна

<b>Институт</b>	<b>Физики высоких технологий</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Электроника и нанoeлектроника</b>

**Тема магистерской диссертации: «Исследование воздействия импульсного электронного пучка на модифицированный дозиметр Фрикке»**

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Целью данной работы является метод определения поглощенной дозы при обработке растворов импульсным электронным пучком.
2. Описание рабочего места на предмет возникновения:
  - вредных проявлений факторов производственной среды  
(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения метеоусловий на рабочем месте, исключить контакт с вредными, токсичными веществами – бензапирен, фенолы и др., которые могут образовываться в процессе работы установки, обеспечить комфортную освещенность рабочего места, уменьшить до допустимых пределов шум от силового блока плазмореактора, вентиляции, обеспечить безопасные значения электромагнитных полей от силового блока плазмореактора);
  - опасных проявлений факторов производственной среды  
(в связи с присутствием электричества для питания энергоблока плазмореактора и освещенности лаборатории, наличии горючих (СО) и взрывоопасных газов (водород) необходимо предусмотреть, если есть, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от электро-, пожаро- и взрывоопасности);
  - необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую природную среду используемых энергетических проявлений и образующихся отходов: электромагнитные поля от силового блока плазмореактора, метан, водород, оксид углерода и др. парниковые и токсичные газы, «черновые» листы бумаги, отработанные картриджи, принтеры и др. оргтехника;
  - необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций, характерных для Сибири – сильные морозы, пурга, человеческий фактор, диверсия (рассмотреть минимум 2 ЧС – 1 природную, 1 техногенную).

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
  - а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;
  - б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет требуемого воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);
  - в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;
  - г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;
  - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
  - предлагаемые средства защиты  
(сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности
  - а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;

– б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет), маркировка; пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).

3. Охрана окружающей среды:  
организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:  
– Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия  
– разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС;  
– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;  
разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:  
– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);

**Перечень графического материала:**  
1) Пути эвакуации  
2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		

## Реферат

Магистерская диссертация состоит из текстового документа на 157 страницах, содержит 22 рисунка, 32 таблиц, 91 источников, 2 приложения.

**Объектом исследования** в работе является определение поглощённой дозы импульсного электронного пучка в объеме воды.

**Целью данной работы** является оптимизация метода определения поглощенной дозы энергии при обработке водных растворов импульсным электронным пучком.

### **Основные задачи исследования:**

1. Изучение методики измерения концентрации двухвалентного и трехвалентного железа и приготовления модифицированного дозиметра Фрикке.
2. Определение концентрации модифицированного дозиметра Фрикке на Спектрофотометре модели ПЭ-6100УФ.
3. Исследование применимости модифицированного дозиметра Фрикке. Оценка и анализ полученных результатов эксперимента, и получение математической модели, графически отражающую зависимость концентрации от поглощенной дозы при облучении модифицированного раствора.

Предметом исследования является вариантность поглощенной дозы энергии в водном растворе от параметров ускорителя.

В качестве метода исследования был использован метод определения поглощённой дозы энергии водным раствором, методика определения концентрации трехвалентного железа с сульфосалициловым раствором и приготовление модифицированного дозиметра Фрикке.

Научная новизна исследовательской работы заключается в изучение воздействия электронного пучка на модифицированный водный раствор.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

### **Нормативные ссылки**

**В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:**

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.
2. ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи.
3. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
4. ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.
5. ГОСТ 3.1102 – 2011 Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.
6. ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.
7. ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.
8. ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.
9. ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.
10. ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
11. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

## Определение

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**поглощенная доза:** Энергия, переданная от излучения элементарному объему вещества единичной массы;

**мощность поглощенной дозы:** Значение поглощенной дозы, отнесенное к единице времени;

**радиолиз:** Любой химический процесс, происходящий в веществе или системе под действием ионизирующего излучения;

**ионизирующее излучение:** Излучение, которое при прохождении через среду производит ее ионизацию;

**дозиметрия:** Количественный аспект радиационной химии;

**радиационно-химический выход (G):** Количественная мера изменения физико-химических свойств вещества в результате поглощения им ионизирующих излучений при радиолизе, выражаемая числом ионов, свободных радикалов, атомов и т.п., возникающих (или разлагающихся) в системе при поглощении ею 100 эВ энергии ионизирующего излучения;

**дозиметр Фрикке (ДФ):** дозиметрический раствор, имеющий следующий состав:  $10^{-2}$  М  $\text{Fe}^{2+}$  и 0,4 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , насыщенный кислородом воздуха;

**модифицированный дозиметр Фрикке (МДФ):** дозиметрический раствор, имеющий следующий состав: 56 мг/л  $\text{Fe}^{2+}$ , 0,01 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 0,1 М  $\text{Cu}^{2+}$ , насыщенный кислородом воздуха;

**колориметр:** Прибор, используемый для определения концентрации вещества в растворе по степени поглощения монохроматического света;

## Введение

Проблемой 21 века является снабжения населения питьевой водой и доступ к её потреблению, которая признана как одна из самых важных задач Тысячелетия в области развития, отраженных в Декларации Тысячелетия ООН в 2000 году [1]. Особое беспокойство по поводу растущего дефицита питьевой воды практически во всех регионах Земли связано как с результатами изменения климата, так и с разнообразной деятельностью человека, приводящей к уменьшению имеющихся водных ресурсов из-за загрязнения пресноводных экосистем. Непрерывный и быстрый рост народонаселения Земли, увеличение потребления всех видов природных ресурсов и разрушение естественных экосистем привело к тому, что к началу XXI века питьевая вода и вода для технических целей стала одним наиболее существенных видов ресурсов, необходимых для элементарного выживания человечества. По некоторым оценкам, к середине XXI века питьевая вода естественного происхождения в большинстве регионов мира превратится в дефицитный продукт, а снабжение будет обеспечиваться за счет ее ввоза (в том числе из арктической и антарктической зон), а также благодаря различным, зачастую весьма дорогостоящим, технологиям опреснения и очистки. Еще сложнее ситуация может сложиться водой для технических нужд, прежде всего это касается земледелия. Эта ситуация уже сейчас реальность для многих сельскохозяйственных и некоторых густонаселенных промышленных районах мира [1]. Основной объем воды сосредоточен в Мировом океане. Объем пресных и соленых вод суши составляет только 6% от объема воды всей гидросферы Земли. При этом доля пресной воды (пресной считается вода, в 1 литре которой содержится не более 1 грамма растворённых веществ – солей, т.е. её солёность не превышает 0,1 %) составляет и вовсе 4-5 % [2,3,5]. Потребности в пресной воде огромны и с каждым годом они увеличиваются, причем 70% всего водопотребления используется в сельском хозяйстве. В связи с ростом народонаселения, потребность в воде на личные нужды с каждым годом также увеличивается. Согласно данным [4] за последние 25 лет суммарный расход пресной воды увеличился в 2 раза. Из сопос-

тавления указанных цифр видно, что увеличение расхода воды связано напрямую не только с «физическим» ростом населения, но и с увеличением ее потребления на душу населения (за 25 лет в 1,34 раза). В настоящее время мировое потребление пресной воды составляет 7-8 млрд. т ежедневно – столько же, сколько ежегодно в мире потребляется минеральных ресурсов [3,5]. Удельное суточное водопотребление в России на душу населения, включающее нерациональное расходование, утечки и аварийные ситуации, составляет 275-300 л. В крупных городах Европы этот показатель не превышает 150-200 л (меньше в 1,37-2,46 раза) [3,5]. Исходя из приведенных данных, можно считать, что вода уже превращается в стратегическое сырьё, наличие которого будет существенно влиять на развитие цивилизации. Эту ситуацию усугубляет загрязнение водных объектов, как продуктами жизнедеятельности человека, так и отходами промышленного и сельскохозяйственного производства. Дефицит пресной воды уже сейчас является достаточно серьёзной мировой проблемой, по той причине, что среди других возможных глобальных катастроф, которые могут привести к самоуничтожению цивилизации, называется и постоянное ухудшение среды обитания человека, как в результате её загрязнения, так и истощения природных ресурсов, в том числе и воды [5]. Более 80 % недугов, приносящих вред человечеству, по данным ЮНЕСКО, является употребление недоброкачественной питьевой воды, именно с ней в организм человека попадают тяжёлые металлы, токсичные соединения, ядохимикаты и другие вредные вещества [5]. В настоящее время наиболее важной является проблема обеспечения населения высококачественной питьевой водой. Эта проблема состоит не столько в наличии водных ресурсов, сколько в подготовке безопасной для здоровья человека воды. Поверхностные источники могут содержать примеси как природного, так и антропогенного происхождения. В поверхностных водах присутствуют нерастворимые вещества, такие как глина, песок, ил. Содержание солей (значение минерализации) в большинстве рек земного шара не больше 500 мг/л, а для Западной Сибири, это значение не превышает 150 мг/л [4]. Состав поверхностных вод постоянно меняется из-за протекания природных процессов окисления и восстановления. Под влиянием человеческой деятельности

изменяется химический состав и, несмотря на снижение количества сброса загрязняющих веществ, качество большинства поверхностных водных объектов России, по-прежнему, не отвечает нормативным требованиям. Содержание нефтепродуктов бывает в десятки раз больше, чем предельно допустимые концентрации (ПДК), соединений азота - от 10 до 16 ПДК, фенолов - от 2 до 7 ПДК, ионов тяжелых металлов - от 10 и выше ПДК. Согласно [6,7] только около 30% из поверхностных водных источников соответствуют гигиеническим стандартам. Подземные воды меньше подвержены сезонным колебаниям, лучше защищены от риска загрязнения и заражения, более равномерно распространены по территории, в отличие от поверхностных вод. Подземные воды – это сложные системы, включающие большой спектр неорганических и органических веществ. От условий их формирования зависит концентрация минеральных солей в этих водах. Несмотря на то, что качество подземных вод лучше, чем поверхностных, они могут не соответствовать нормативным требованиям по содержанию отдельных элементов [8]. При потреблении воды с повышенным содержанием железа возможны различные проблемы со здоровьем. Например, большое содержание железа в организме приводит к его отложению в тканях, которое носит генерализованный характер, называемый гемосидероз. А при содержании в организме железа более 15г проявляется гемохроматоз, при котором, организм человека начинает накапливать железо в сердце, печени и поджелудочной железе. Кроме того, избыток железа в воде негативно действует на психику, нарушая функцию центральной нервной системы. Люди, у которых обнаруживаются высокие концентрации железа в мозге, страдают болезнью Паркинсона [9, 10]. Непонимание важности проблемы передозировки железа и необходимости обезжелезивания воды приводит к тому, что люди наносят вред своему здоровью. Однако встречаются научные труды, в которых этот аспект проблемы находит весьма неожиданное отражение. Так в работе Е. Моисеевой [11] утверждается польза «железной» воды без какой-либо ее очистки, что вводит в заблуждение широкие слои населения - ведь обезжелезивание воды является одним из ведущих направлений по обеспечению населения доброкачественной водой. Так, по данным [8], около 50% подземных вод России содержат



железо в концентрациях, во много раз превышающих ПДК, поэтому для питьевых целей без предварительной очистки применение таких вод невозможно.

Радиационная химия – это один из немаловажных разделов химии высоких энергий, предметом, которого являются химические превращения в веществе под воздействием ионизирующих излучений. На сегодняшний день исследованы основные стадии взаимодействия различных видов ионизирующего излучения с веществом, также особое внимание уделяется на дозиметрию, образование промежуточных активных частиц, радиационную стойкость материалов и некоторые аспекты радиационно-химических технологий.

На сегодняшний день более перспективным способом является обработка водного раствора импульсным электронным пучком. Радиационная обработка водного раствора позволяет осуществить комплексное физико-химическое воздействие на обрабатываемый раствор.

Дозиметрия представляет собой совокупность способов измерения дозы излучения, полученного тем или иным веществом. Развитие дозиметрии первоначально полностью определялось необходимостью защиты человека от вредного воздействия ионизирующих излучений.

Ионизирующие излучения широко используются в современных методах обследования и лечения в медицине, также во многих других прикладных областях. Количество приборов, в которых применяются источники ионизирующего излучения, число различных ускорительных установок возрастает с каждым днем. Сегодня широкое распространение получили цифровые системы визуализации, основанные на применении ионизирующего излучения. Многоканальные детектирующие системы широко применяются как в сферах неразрушающего контроля, так и при проведении медицинских обследований.

На сегодняшний день существует широкий спектр различных источников, предназначенных для таких исследований, однако их использование имеет ограничения, связанные с дозовыми нагрузками на объекты исследования, особенно в случаях исследования биологических объектов. При работе с биологическими объектами максимально допустимые значения поглощенных доз не всегда позво-

ляют выбирать желаемые интенсивности излучения. Это создает сложности при проведении таких обследований, а зачастую делает их недопустимыми. Таким образом, определение пространственных дозиметрических характеристик источников имеют высокую практическую ценность.

Среди большого числа применяемых в радиационной химии методов дозиметрии потоков быстрых электронов следует остановиться на хорошо зарекомендовавшей себя в исследовательской практике ферросульфатной дозиметрической системе.

Но, в настоящей работе был использован модифицированный дозиметр Фрикке, для определения поглощенной дозы обрабатываемого водного раствора при обработке воды импульсным электронным пучком [12, 13]. Данная дозиметрическая система представляет собой  $10^{-3}$  М насыщенный водный раствор  $\text{FeSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$  и 0,1 М  $\text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$  в 0,01 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Радиационно-химический выход  $G(\text{Fe}^{3+})$  составляет 0,6 ионов/100 эВ и не изменяется при мощности поглощенной дозы, вплоть до  $3 \cdot 10^8$  Гр/сек. Верхний предел измерения дозы с помощью данного модифицированного дозиметра составляет порядка 16 кГр. Таким образом, определение поглощенной дозы электронного излучения экспериментальными методами имеет ряд преимуществ, особенно в тех случаях, когда используемая дозиметрическая система по своим характеристикам (агрегатному состоянию, эффективному атомному номеру, толщине детектирующего слоя и др.) близка к соответствующим характеристикам облучаемого объекта.

Так как ионизация и возбуждение связаны с поглощенной дозой энергии излучения в веществе, именно они выбраны для характеристики меры воздействия ионизирующего излучения на среду. В этих целях введено понятие «поглощенная доза», иногда используют термин «доза ионизирующего излучения». Таким образом, поглощенная доза есть средняя энергия, поглощенная в единице массы любого вещества независимо от вида и энергии ионизирующего излучения. Поэтому поглощённая доза в облучаемом объекте излучения, отвечающая оптимальному выходу данного радиационно-химического исследования позволяет определить его энергоемкость. Но, наиболее часто поглощённую дозу импульсного электрон-

ного излучения оценивают на основе измеренных параметров пучка при определенном режиме работы ускорителя и известных компонентов и характеристик вещества облучаемого объекта.

Наиболее часто поглощенную дозу электронного излучения оценивают на основе измеренных параметров пучка при определенном режиме работы ускорителя и известных характеристик вещества облучаемого объекта. Но точность этого расчетного метода сравнительно невысока в случае, когда коэффициент использования электронного пучка меньше единицы, и это отклонение от единицы превышает допустимую погрешность. Для повышения точности измерения поглощенной дозы используют калиброванные дозиметрические системы.

В настоящее время импульсные электронные пучки находят широкое применение во многих областях науки и техники: возбуждение эксимерных лазеров, ионизация молекул газа и жидкостей для инициации химических процессов, обработка поверхности твердосплавных изделий, технологии электронно-стимулированного обеззараживания и стерилизации материалов, сшивка полимеров и т.д. При этом актуальным является применение потока ускоренных электронов для обработки промышленно-бытовых сточных вод, поскольку технологии предотвращения и ликвидации загрязнения окружающей среды входят в перечень критических технологий Российской Федерации. Основным параметром, определяющим эффективность использования технологии обработки водных растворов на базе импульсных электронных ускорителей, является поглощенная доза энергии и величина плотности энергии выведенного электронного пучка. Магистерская диссертационная работа посвящена исследованию воздействия генерации импульсного электронного пучка на модифицированный дозиметр Фрикке с целью, исследовать применимость модифицированного дозиметра для определения импульсного электронного пучка. В качестве практического использования полученных результатов по снижению систематической погрешности метода определения поглощенной дозы при облучении водных растворов импульсным электронным пучком.

На сегодняшний день в лаборатории №1 ИФВТ ТПУ разработано комплексы на базе импульсного электронного ускорителя «Астра – М», задачей которых является обработка различных водных растворов (хозяйственно-бытовые сточные воды, промышленные сточные воды, жидкие пищевые продукты и др.) в проточном режиме. Для проведения корректных исследований существует необходимость измерения производимого эффекта электронным пучком в зависимости от поглощенной дозы.

Для определения поглощённой дозы энергии в модифицированном растворе дозиметра Фрикке было проведено облучение импульсным электронным пучком. При воздействии ионизирующего излучения на данный раствор, в котором двухвалентное железо  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется до трехвалентного железа  $\text{Fe}^{3+}$ . Определение трехвалентного железа  $\text{Fe}^{3+}$  проводилась по стандартной методике. Поэтому, при определении поглощённой дозы с высокой мощностью дозы, создаваемой импульсным электронным пучком, применялся модифицированный дозиметр Фрикке. Благодаря своим свойствам данный раствор позволяет контролировать условия облучения модельных растворов в требуемом эксперименте, что позволяет провести необходимые измерения производимого эффекта электронным пучком в зависимости от поглощённой дозы энергии в облучаемом растворе для более корректных исследований.

Аналитический обзор литературы на тему воздействия импульсного электронного пучка на модифицированный дозиметр Фрикке и определение поглощенной дозы энергии в водном растворе показывает, что данная тема актуальна, но остается много спорных вопросов. Подтверждением этому могут служить существующие исследования в данной области, [14,15]

**Целью данной работы является:**

- 1) освоение методики измерения концентраций двухвалентного и трехвалентного железа и приготовления модифицированного дозиметра Фрикке;
- 2) исследование применимость модифицированного дозиметра Фрикке для импульсного электронного пучка;

3) оптимизация метода определения поглощенной дозы энергии при обработке водных растворов импульсным электронным пучком.

**Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:**

1. Изучение методики измерения концентрации двухвалентного и трехвалентного железа и приготовления модифицированного раствора.
2. Определение концентрации модифицированного дозиметра Фрикке на Спектрофотометре модели ПЭ-6100УФ.
3. Исследование применимости модифицированного дозиметра Фрикке.
4. Оценка и анализ полученных результатов эксперимента, и получение математической модели, графически отражающую зависимость концентрации от поглощенной дозы при облучении модифицированного раствора.

**Ожидаемые результаты проекта:** Снижение систематической погрешности метода определения поглощенной дозы при облучении водных растворов импульсным электронным пучком

**Объектом исследования** в работе является модифицированный дозиметр Фрикке и определение поглощённой дозы импульсного электронного пучка в объеме воды.

**Предметом исследования** является вариантность поглощенной дозы энергии в водном растворе от параметров ускорителя.

**В качестве метода исследования** был использован метод определения поглощённой дозы энергии водным раствором, методика определения концентрации трехвалентного железа с сульфосалициловым раствором и приготовление модифицированного дозиметра Фрикке.

Методики приготовления модифицированного дозиметра Фрикке и определения концентрации трехвалентного железа описывает, как и в каких количествах добавлять реагенты, также они основаны на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в кислой среде с образованием красного комплекса железа и раствора с голубым оттенком, такой оттенок данному раствору придает медный купорос.

**Научная и практическая новизна работы** заключается в том, что в ходе исследования изучены и раскрыты систематические ошибки в методики определения поглощенной дозы. Практическая новизна в изучение воздействия электронного пучка на модифицированный водный раствор.

**Практическая значимость работы состоит в следующем:**

1. Проводимые исследования направлены в первую очередь на развитие и усовершенствование в России технологий по очистке и обеззараживанию сточных вод. При этом импульсный характер пучка представляет практический интерес с точки зрения промышленности по очистки сточных вод изменяющих свой состав в процессе облучения. Что позволяет, упростит процесс облучения. Помимо данного применения, проводимые исследования также представляют большой интерес медицинского применения и для исследователей, работающих в области космической радиобиологии.
2. Получены результаты расчетов концентрации трехвалентного железа и поглощённой дозы в водном растворе. Полученные результаты могут быть использованы для внесения изменений в существующие требования при облучении импульсным электронным пучком некий объем анализируемого водного раствора, могут быть учтены сотрудниками лаборатории при следующем облучении водного раствора.

## **Глава 1. Аналитический обзор литературы**

### **1.1 Поглощённая доза энергии**

**Поглощённая доза** — величина отношения энергии ионизирующего излучения, поглощённой в этом объёме вещества, к массе вещества в данном объёме. Поглощённая доза считается основной дозиметрической величиной.

**Ионизирующее излучение (радиация)** — различные виды микрочастиц и физических полей, способные ионизировать атомы и молекулы вещества без роста температуры вещества. Ионизирующее излучение возникает в следствии ядерных реакций, при очень высокой температуре (солнечная корона), в следствии образования частиц высоких энергий в ускорителях или в результате ускорения заряженных частиц электромагнитными полями естественного происхождения (от молнии до взрыва сверхновых звезд).

Ионизация и возбуждение атомов среды – это первичные процессы, которые происходят в веществе под воздействием ионизирующего излучения. Именно отмеченные эффекты характеризуют величину воздействия излучения на биологические объекты. Одной из значимых задач радиационной безопасности считается установление количественной связи между уровнем воздействия и образующимися эффектами в среде, обусловленными ионизирующим излучением. Таким образом, необходимо ввести систему величин, описывающих не только лишь действие ионизирующего излучения на среду, но и связанных с характеристиками поля излучения (поток, плотностью потока частиц либо энергии) через физические константы взаимодействия излучения с веществом. Только лишь в данном случае можно установить однозначную связь между параметрами поля излучения и параметрами воздействия излучения на среду [16].

Ионизация и возбуждение связаны с поглощенной энергией излучения в веществе, поэтому конкретно они выбраны для характеристики меры воздействия ионизирующего излучения на среду. В представленном случае введено понятие «поглощенная доза», время от времени употребляется термин «доза ионизирующего излучения».

Поглощенная доза ионизирующего излучения  $D$  – это отношение приращения средней энергии  $dw$  переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$D=dw/dm \quad (1)$$

Таким образом, *поглощенная доза* есть средняя энергия, поглощенная в единице массы любого вещества независимо от вида и энергии ионизирующего излучения. В качестве единицы поглощенной дозы в системе СИ принят грей ( $Гр$ );  $1Гр$  соответствует поглощению в среднем  $1 Дж (10^7 эрг)$  энергии ионизирующего излучения в массе вещества, равной  $1 кг$ :  $1 Гр = 1 Дж/кг$ . Пока ещё на практике используется специальная внесистемная единица поглощенной дозы – рад;  $1рад=100 эрг/г=10^{-2} Дж/кг = 10^{-2} Гр$ . Поглощенная доза ионизирующего излучения является главной физической величиной, определяющей степень радиационного воздействия, т. е. мерой ожидаемых последствий облучения объектов живой и неживой природы [16].

Изменение дозы излучения в единицу времени именуется *мощностью дозы*. Мощность поглощенной дозы ионизирующего излучения – отношение приращения поглощенной дозы излучения  $dD$  за интервал времени  $dt$  к этому промежутку времени:

$$D = dD/ dt \quad (2)$$

В системе СИ единица мощности поглощенной дозы  $1Гр/с=1Дж/(с·кг)=1Вт/кг$ . Вне системная единица мощности поглощенной дозы  $1рад/с$ .

Следует отметить, что поглощенная доза характеризует не самоизлучение, а его воздействие на среду. В принципе один и тот же поток излучения может создать различную поглощенную дозу [16]. Это обусловлено тем, что такие процессы взаимодействия фотонного излучения с веществом, как фотоэлектрическое поглощение, образование пар, радиационные потери для заряженных частиц не линейно зависят от  $Z$ . В данном случае ослабление излучения, а, следовательно, и поглощенная энергия, отнесенная к единице массы, значительно отличается в ве-



ществах с различным атомным номером  $Z$ ; причем возрастают с увеличением  $Z$ . К примеру, один и тот же поток фотонного излучения с энергией 200 кэВ формирует разную поглощенную дозу в алюминии ( $Z = 13$ ) и меди ( $Z = 29$ ), потому что вклад фотоэлектрического поглощения в общий процесс ослабления излучения значительно отличается для этих элементов, а, следовательно, и существенно различаются массовые коэффициенты ослабления  $\mu/\rho$ .

Поэтому, когда говорим о поглощенной дозе, необходимо указывать, к какой среде это относится: к воздуху, воде или другим веществам. Таким образом, зависимость поглощенной дозы от рода вещества для одного и того же вида и энергии излучения называется энергетической зависимостью чувствительности детектора.

Для излучений, у которых поглощение энергии происходит в результате процессов взаимодействия, линейно зависящих от  $Z$ , не наблюдается энергетической зависимости чувствительности детектора. К таким процессам относятся ионизация и возбуждение (для заряженных частиц), когерентное рассеяние (фотонное излучение).

Измерить поглощенную дозу можно по тем же эффектам, которые возникают в веществе в процессе взаимодействия с ионизирующим излучением. Для этого необходимо установить однозначную связь между изменением физических или химических свойств детектора излучения (ионизация, изменения интенсивности люминесценции, проводимости, изменение выхода тех или иных химических реакций и т. д.) и поглощенной энергии излучения.

Для заряженных частиц довольно легко измерить поглощенную дозу по ионизации или другим радиационным эффектам, возникающим в веществе. Это обусловлено тем, что передача и поглощение энергии происходят в одном и том же элементарном объеме. Более того, если известны плотность потока частиц  $\phi$  [част./м<sup>2</sup>·с], проникающих в облучаемый объем, и их энергия  $E$ , то средняя мощность поглощенной дозы, создаваемая в этом объеме,

$$D = (\phi * E * 1,6 * 10^{-13}) / R\rho \quad (3)$$

Здесь  $1,6 \cdot 10^{-13}$  - коэффициент перехода от мегаэлектрон-вольт к джоулям ( $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ );  $R$  и  $\rho$  - пробег заряженной частицы в облучаемом веществе (м) и плотность ( $\text{кг/м}^3$ ) соответственно в системе СИ. Эта формула справедлива только в том случае, если пробег частиц не больше облучаемого объема. Следует отметить, что здесь речь идет именно о средней поглощенной дозе. В различных точках облучаемого объема (вернее, в элементарных объемах) поглощенная доза будет различной, так как плотность ионизации вдоль трека заряженной частицы неодинакова.

Таким образом, для заряженных частиц ( $\alpha$ ,  $\beta$ , протонов) небольших энергий, когда основными процессами взаимодействия являются ионизация и возбуждение, между параметрами, характеризующими само излучение (поток, плотность потока и т. д.), и параметром, характеризующим воздействие излучения на среду (поглощенная доза), существует достаточно очевидная прямая связь. Аналогичным образом можно связать характеристику поля быстрых нейтронов с поглощенной дозой, так как пробег протонов отдачи (если речь идет о биологической ткани), а также ядер отдачи невелик, и в этом случае передача и поглощение энергии также происходят в одном и том же элементарном объеме.

Если обратиться к рассмотрению формирования поглощенной дозы у фотонного излучения, то увидим, что один и тот же поток излучения создает разную поглощенную дозу не только в разных средах, но и в различных точках данного облучаемого объекта. Выделим в облучаемом объекте два объема, один из которых расположен вблизи поверхности, а другой – внутри облучаемого объекта на некоторой глубине, равной или больше пробега вторичных электронов в данной среде (рисунок 1). Фотон, который испытывает акт взаимодействия в объеме  $A$ , передаст энергию одному из электронов атомов среды. Пробег этого электрона может быть таким, что он выйдет за пределы этого объема. В то же время в этом объеме могут произвести ионизацию и, следовательно, внести вклад в формирование дозы электроны, образованные в результате поглощения фотонов вне объема  $A$ , например, в воздухе или в соседних участках облучаемого объекта. Таким образом, поглощенная доза, измеренная в объеме  $A$ , не равна энергии, которую

передали фотоны среде в объеме  $A$ . Следовательно, в этом случае поглощенная доза не может служить характеристикой ионизирующего излучения по его воздействию на среду.

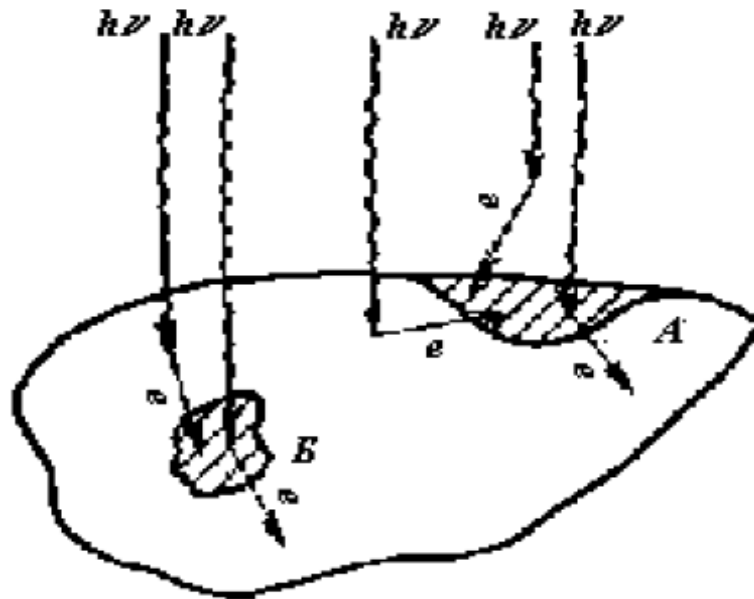


Рисунок 1 – Схема для иллюстрации связи поглощенной дозы фотонного излучения с параметрами поля излучения.

Рассмотрим теперь объем  $B$ . Поскольку он расположен на расстоянии от поверхности, равном или большем, чем пробег вторичных электронов, ни один электрон, образованный фотонным излучением вне облучаемого объекта, не попадает в этот объем. Наряду с этим ионизация, создаваемая вне объема  $B$  вторичными электронами, образованными вследствие поглощения фотонов в объеме  $B$ , будет точно компенсироваться той ионизацией, которую создадут вторичные электроны, образуемые фотонным излучением в облученном объекте, окружающем объем  $B$ . Таким образом, измерив ионизацию в объеме  $B$ , мы можем судить об энергии, переданной фотонным излучением вторичным электронам в этом же объеме. Следовательно, энергия поглощения в объеме  $B$  будет равна энергии, переданной фотонами вторичным электронам только в том случае, когда поглощенная доза измеряется в объеме, расположенном на глубине облучаемого объекта, равном или большем пробегу вторичных электронов, т. е. в условиях энергетического равновесия между первичным и вторичным излучением.

Только в данном случае между параметрами поля излучения (поток, плотностью потока и т. д.) и параметрами его воздействия на среду (поглощенной дозой) существует однозначная связь.

На практике, измеряя величину эффекта (ионизацию, люминесценцию и т. д.), обусловленного воздействием ионизирующего излучения на среду, определяют поглощенную дозу, усредненную по массе детектора излучения. Но эта величина не может нас полностью удовлетворить как характеристика действия косвенно ионизирующего излучения на среду в силу тех неопределенностей, о которых говорилось выше. А для решения ряда вопросов радиационной безопасности в первую очередь в области измерения ионизирующих излучений важно иметь такую характеристику излучения по его воздействию на среду, которая была бы однозначно связана с параметрами поля излучения, в частности с таким, как плотность потока энергии. Для этих целей введена специальная величина— *керма*  $K$ , которая является мерой энергии, переданной косвенно ионизирующим излучением заряженным частицам в пределах рассматриваемого объема.

Керма – это отношение суммы начальных кинетических энергий  $dE_k$ , всех заряженных ионизирующих частиц, образовавшихся под действием косвенно ионизирующего излучения в элементарном объеме вещества, к массе  $dm$  вещества в этом объеме:

$$K = dE_k / dm \quad (4)$$

Соответственно мощность кермы есть отношение приращенной кермы  $dK$  за интервал времени  $dt$  к этому интервалу времени:

$$K = dK / dt \quad (5)$$

Таким образом, воздействие ионизирующих излучений на вещество представляет собой непростой процесс. Поглощенная энергия расходуется на нагрев вещества, а также на его химические и физические превращения. Эффект облучения зависит от величины поглощенной дозы, её мощности, вида излучения, радиационной чувствительности облучаемого объекта и его компонентов (к примеру, водного раствора и осадка). Сама по себе доза излучения зависит от вида излучения (нейтроны,  $\gamma$  – кванты и т. д.), плотности его потока, энергии его частиц,

состава вещества и его структуры. В процессе облучения доза со временем накапливается [17].

Зависимость величины дозы от энергии частиц, плотности их потока и состава облучаемого вещества различна для разных видов излучения. Например, для рентгеновского и  $\gamma$ -излучений доза зависит от атомного номера  $Z$  элементов, входящих в состав вещества; характер этой зависимости определяется энергией фотонов  $h\nu$  ( $h$  – Планк постоянная,  $\nu$  – частота электромагнитных колебаний). Для данных видов излучений доза в тяжёлых веществах больше, чем в лёгких (при одинаковых условиях облучения). Нейтроны взаимодействуют с ядрами атомов. Характер этого взаимодействия значительно зависит от энергии нейтронов. Если происходят упругие соударения нейтронов с ядрами, то средняя величина энергии, переданной ядру в одном акте взаимодействия, оказывается большей для лёгких ядер. В этом случае (при схожих условиях облучения) поглощённая доза в лёгком веществе станет выше, чем в тяжёлом веществе. Остальные виды ионизирующих излучений имеют свои особенности взаимодействия с веществом, которые определяют зависимость дозы от энергии излучения и состава вещества.

## **1.2 Эталонные единицы поглощённой дозы в воде**

Поглощенная доза в воде является величиной, наиболее интересной для лучевой терапии, так как именно от нее зависит биологический эффект облучения. Преимущества калибровки в единицах поглощенной дозы в воде и методы дозиметрии, использующие эти калибровочные коэффициенты, были описаны несколькими авторами [18, 19, 20] и приведены подробно в докладе МКРЕ по фотонной дозиметрии [21].

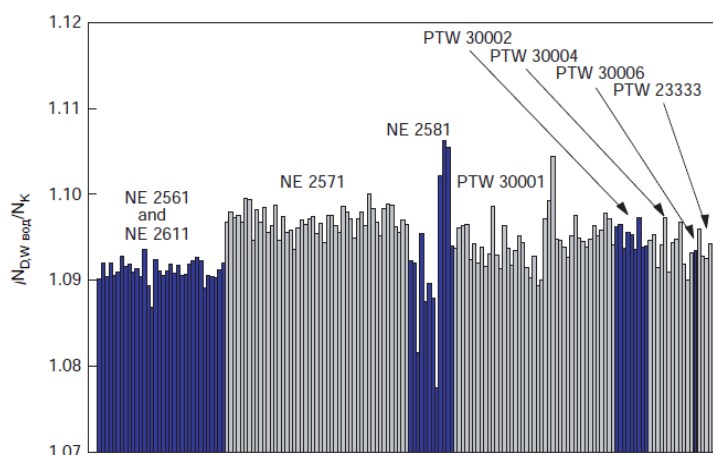


Рисунок 2 - Отношение калибровочных коэффициентов  $N_{D,w}/N_K$  является полезным показателем однородности камер одного типа [22]. Различие в отношения  $N_{D,w}/N_K$  для камер одного типа демонстрируется для большого числа камер, обычно используемых для дозиметрии в лучевой терапии, (таблица 1 с описанием каждого типа камер). Большие различия для камер типа NE2581 возможно связаны с гигроскопичностью материала стенки – пластика А-150. Данные получены в Лаборатории дозиметрии МАГАТЭ.

Существует три главных общепризнанных метода, используемых для абсолютного определения поглощенной дозы в воде: калориметрия, химический и ионизационный методы дозиметрии. В настоящее время только эти методы дают достаточную точность, чтобы быть положенными в основу первичных эталонов для измерений поглощенной дозы в воде [21]. ДЛПЭ разработали различные экспериментальные методы для создания эталонов поглощенной дозы в воде. Ниже представлены краткое описание этих эталонов и итоги международных сличений результатов измерений поглощенной дозы в воде.

Большая часть первичных эталонов поглощенной дозы в воде ДЛПЭ работают с гамма-излучением  $^{60}\text{Co}$ , однако, некоторые работают также и с другими видами излучения, такими, как фотоны высоких энергий, электроны и киловольтное рентгеновское излучение. Первичные эталоны, работающие с гамма-излучением  $^{60}\text{Co}$  и пучками фотонов и электронов, получаемых на ускорителях, основаны на последующих методах:

1) Первичный эталон на основе ионизационной камеры содержит графитовую полостную камеру с точно известным объемом и сконструированную так, чтобы выполнить как можно точнее требования Брегга-Грея к детекторам. Камера размещается в воде и поглощенная доза в воде на опорной глубине получается с

использованием значения средней энергии ионообразования в воздухе, находящемся в полости [23].

2) Графитовый калориметр, разработанный Domen и Lamperti [24], используется различными ДЛПЭ с малыми модификациями для определения поглощенной дозы в графите в графитовом фантоме. Переход к поглощенной дозе в воде в опорной точке водного фантома может быть выполнен различными путями, к примеру с использованием масштабной теоремы или измерениями, основанными на теории ионизации в полости [25,26].

3) Водный калориметр предоставляет вероятность наиболее прямого определения поглощенной дозы в воде в опорной точке водного фантома. Запаянный водный объём [27,28] состоит из маленького стеклянного сосуда, содержащего очень чистую воду и детектор-термистор. Принципиально важно, чтобы вода была очень чистой, так как тепловой дефект воды сильно зависит от находящихся в ней примесей. В запаянной конструкции очень чистая вода может быть насыщена различными газами, чтобы создать смесь, для которой тепловой дефект имеет хорошо определенное и стабильное значение.

4) Водный калориметр с дозиметром Фрикке [29] лежит в основе измерений увеличения средней температуры, вызванного поглощением фотонов высоких энергий. Вода непрерывно перемешивается и определяется поглощенная доза в воде, усредненная по объему сосуда. Раствор Фрикке калибруется облучением в тех же условиях, и поглощенная доза в воде в опорной точке водного фантома получается, используя дозиметр Фрикке как эталон сравнения.

5) В эталоне поглощенной дозы в воде на основе дозиметра Фрикке определяется чувствительность раствора Фрикке, используя полное поглощение пучка электронов в растворе [30]. Зная точно энергию электронов, ток пучка и поглощающую массу, можно определить полную поглощенную энергию и отнести её к изменению оптического поглощения раствора Фрикке, измеренному спектрофотометрически. Поглощенная доза в воде в опорной точке водного фантома получается, используя дозиметр Фрикке как эталон сравнения.

Методы, описанные выше, не применяются ДЛПЭ в первичных эталонах для пучков киловольтного рентгеновского излучения. Абсолютные измерения поглощенной дозы в воде для киловольтных рентгеновских пучков основаны исключительно на применении экстраполяционных ионизационных камер [31].

Сопоставление первичных эталонов поглощенной дозы в воде выполнены лишь в последнее десятилетие [21, 32, 33], в то время как сравнения первичных эталонов воздушной кермы имеют более длинную историю. Итоги сравнения первичных эталонов поглощенной дозы в воде для излучения  $^{60}\text{Co}$ , выполненные МБМВ, приведены в [34], (рисунок 3). Получено хорошее согласие в пределах относительных стандартных неопределённостей, оцененных каждой ДЛПЭ. Сопоставление первичных эталонов воздушной кермы для излучения  $^{60}\text{Co}$  показывает схожее стандартное отклонение (рисунок 4). Однако первичными эталонами воздушной кермы всех ДЛПЭ являются графитовые полостные ионизационные камеры, а строго согласованными используются поправочные коэффициенты. Как можно видеть из таблицы 1, ДЛПЭ при сравнении поглощенной дозы в воде использовали различные методы определения, в которых были не коррелируемые или слегка коррелируемые неопределённости и ввели систему, которая получилась наиболее надёжная, чем первичные эталоны воздушной кермы, и менее восприимчивая к неизвестным систематическим влияниям.

Таблица 1 – Первичные эталоны, использованные в сравнениях поглощённой дозы в воде в МБМВ

ДЛПЭ	Первичный эталон	ДЛПЭ	Первичный эталон
BIPM	Ионизационная камера	NIST (США)	Запаянный водный калориметр
ARPANSA (Австралия)	Графитовый калориметр	NPL (Великобритания)	Графитовый калориметр
BEV (Австрия)	Графитовый калориметр	NRC (Канада)	Запаянный калориметр
ENEA (Италия)	Графитовый калориметр	PTB (Германия)	Дозиметр Фрикке
LPRI (Франция)	Графитовый калориметр		



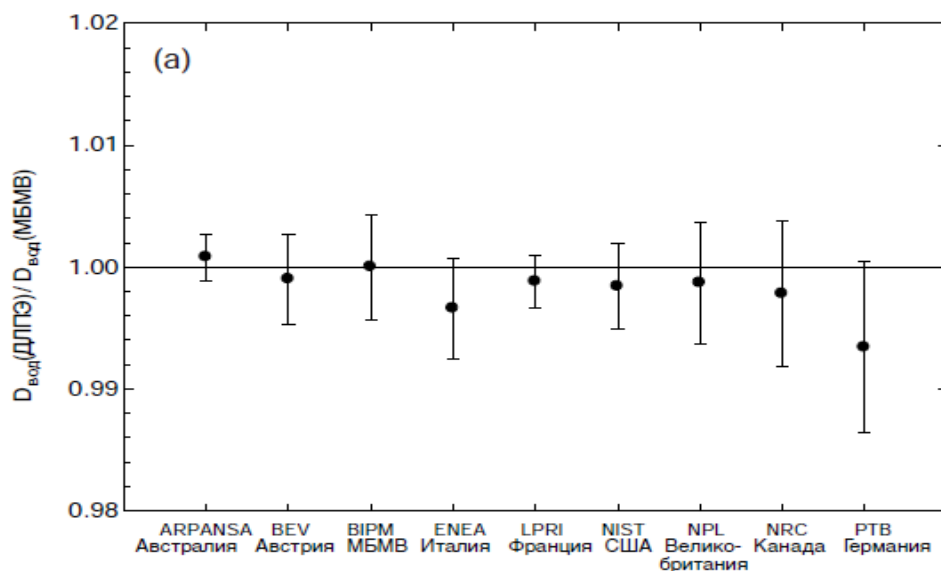


Рисунок 3 – Результаты сравнений эталонов поглощенной дозы в воде в пучке  $^{60}\text{Co}$  МБМВ [34]. Результаты отнесены к значению, полученному МБМВ, и являются наиболее поздними для каждого метрологического института. Самое раннее значение датировано 1989 г. Разброс отклонений представляет относительную стандартную неопределённость поглощенной дозы в воде для каждого института. Информация о первичных эталонах, используемых ДЛПЭ, дана в таблице 1.

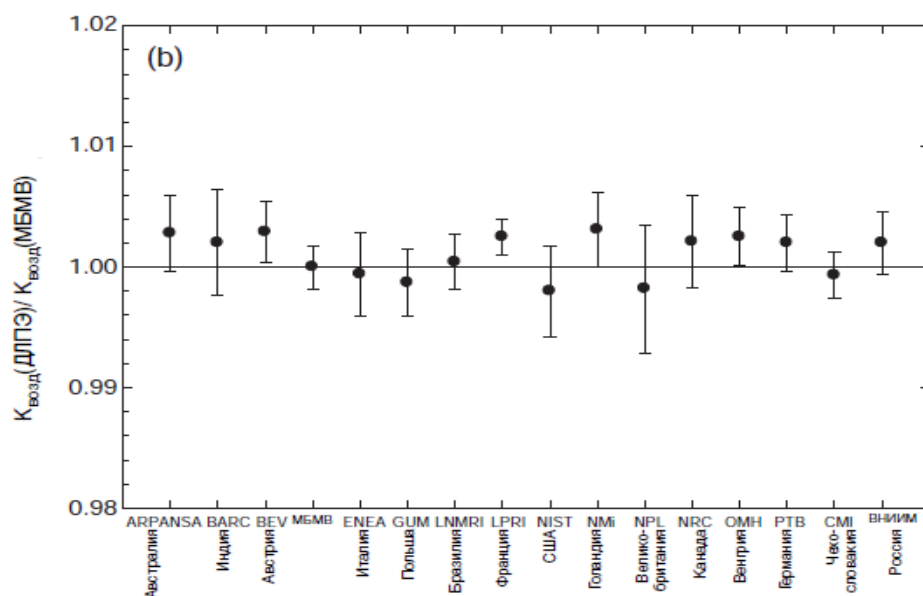


Рисунок 4 - Результаты сравнений эталонов воздушной кермы в пучках  $^{60}\text{Co}$  МБМВ [34]. Результаты отнесены к значению, полученному МБМВ, и являются наиболее поздними для каждого метрологического института. Разброс отклонений представляет относительную стандартную неопределённость определения воздушной кермы для каждого института.

### 1.3 Радиоллиз воды и водных растворов

При действии излучений на воду проходят такие суммарные реакции:



Значительное количество перекиси водорода получается только в том случае, когда вода содержит растворенный кислород. В отсутствие кислорода приведенные реакции проходят при действии  $\gamma$ -излучения с очень маленьким выходом. Можно считать, что вода, которая не содержит растворенный кислород, практически не разлагается при действии рентгеновских,  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучений. При действии  $\alpha$ -лучей количество пероксида водорода одинаково как в присутствии кислорода, так и без его отсутствия.

Первичное химическое действие излучения приводит к образованию H и OH $\cdot$  по схеме [35]:



Пространственное распределение этих радикалов зависит от вида иницирующего излучения сразу же после их образования. При прохождении  $\alpha$ -частиц, протонов или электронов малой энергии радикалы получаются вдоль треков этих частиц и в больших количествах. Эти радикалы реагируют друг с другом, что приводит к образованию водорода, пероксида водорода и воды [35]:



Таким образом, можно считать, что под действием излучений проходит две реакции [35]:

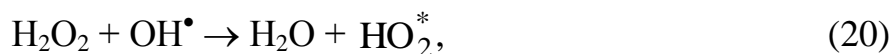


Аналогичные реакции происходят в воде и при действии  $\alpha$ -лучей, но в незначительной степени, если вода не содержит растворенный кислород. Радикалы, которые образовались в последней реакции, способные реагировать с растворенными веществами.

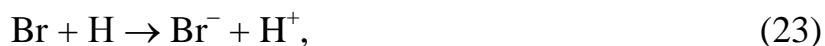
В чистой воде под действием излучений возможные также реакции



Эти реакции можно рассматривать как обратные цепные реакции, которые приводят к уничтожению продуктов разложения воды [35]. Для пероксида водорода возможна также еще одна реакция, которая тормозит его распад:



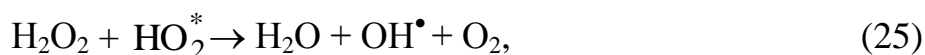
Добавление в воду многих веществ вызывает рекомбинацию радикалов и может тормозить обратные реакции. Растворенные вещества окисляются или восстанавливаются в реакциях с радикалами гидроксила, атомами водорода и молекулами пероксида водорода. Например, в присутствии ионов брома могут происходить реакции [35]:



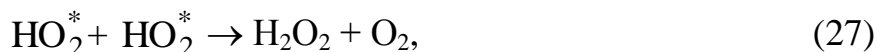
Присутствие кислорода в растворе приводит к образованию свободных радикалов  $\text{HO}_2^*$  по реакции:



Эти радикалы реагируют с пероксидом водорода и гидроксидом с образованием кислорода:



С другой стороны, участие радикалов  $\text{HO}_2^*$  в реакциях может приводить к образованию  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



Эти реакции оказывают содействие образованию пероксида водорода под действием  $\gamma$ -излучений на воду, которая содержит растворенный кислород.

Детальный механизм радиолиза воды полностью не выявлен. Чтобы вообразить всю сложность возможных процессов, которые проходят под действием излучений высоких энергий, схематически рассмотрим возможные элементарные процессы при радиолизе воды.

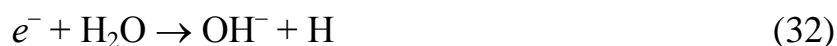
Первичный процесс ионизации воды приводит к появлению вторичных электронов, при столкновении которых с молекулами воды в зависимости от скорости может проходить дальнейшая ионизация молекул воды с образованием  $\text{H}_2\text{O}^+$ , а также диссоциативная ионизация или возбуждение молекул. Электроны, которые теряют скорость, могут рекомбинировать с ионом  $\text{H}_2\text{O}^+$ , вследствие чего получается два радикала:



или проходит диссоциация



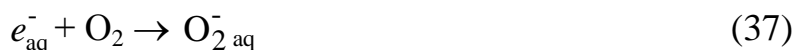
Электроны могут также вступать в реакции:



или гидратироваться:



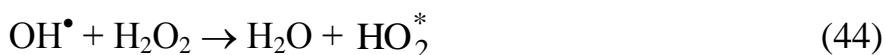
Время жизни гидратированного электрона составляет  $\sim 10^{-5}$  с. Он может вступать в реакции [35]:



Свободные атомы и радикалы, которые возникают в этих реакциях, могут рекомбинировать по реакциям [35]:



Кроме того, атомы и радикалы могут принимать участие в реакциях:



В ходе реакции могут получаться триплетные молекулы воды, которые вступают в реакцию:



При радиолизе воды возможный процесс:



а пероксид водорода может электролитически диссоциировать:



Главными процессами, которые определяют выход конечных молекулярных продуктов радиолиза воды, являются реакции рекомбинации радикалов в шпурах[35]. Так, радиационно-химический выход при разложении жидкой воды рав-

няется  $\sim 4$ . Он приблизительно втрое меньше, чем в газовой фазе, за счет реакции рекомбинации  $\text{H} + \text{OH}^\bullet$ , которая проходит в шпурах вследствие эффекта клетки.

Образованием радикалов  $\text{H}$ ,  $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^*$  можно объяснить окислительно-восстановительные реакции, которые проходят в растворах многих веществ под воздействием излучений. Например, при облучении кислых водных растворов сульфата двухвалентного железа в отсутствие кислорода воздуха протекает реакция:



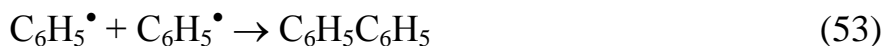
В насыщенном воздухом растворе получают радикалы  $\text{HO}_2^*$ , которые реагируют с ионами двухвалентного железа по реакции:



Кроме того, окислителем может быть и пероксид водорода, который получается в растворе.

Бихромат калия в кислой среде восстанавливается под действием рентгеновских и  $\gamma$ -лучей. Растворы  $\text{KIO}_3$  восстанавливаются при действии  $\alpha$ -излучения и рентгеновских лучей.

Облучение водных растворов бензола в отсутствие кислорода приводит к образованию фенола и дифенила по схеме:



В присутствии растворенного в воде кислорода выход фенола возрастает в несколько раз. Это объясняется тем, что кислород, образуя в воде радикалы  $\text{HO}_2^*$ , удаляет из реагирующей смеси атомы  $\text{H}$  и этим замедляет рекомбинацию атомарного водорода со свободным гидроксилом и с фенильными радикалами, которая приводит к образованию воды и бензола. Кроме того, радикал  $\text{HO}_2^*$  при взаимодействии со свободным фенилом образует гидропероксид фенола, который при разложении превращается в фенол.

Обнаружено очень интересное явление, когда одно растворенное вещество защищает от разложения под действием излучений другое вещество. Например, добавление к водному раствору ацетона муравьиной кислоты в количестве, не меньшей одной десятой от количества ацетона, практически полностью защищает ацетон от разложения рентгеновскими лучами. Поэтому, это явление особенно важно для биохимических систем и используется при разработке средств защиты человека от действия излучений.

#### 1.4 Кинетика радиолиза воды и водных растворов

Кинетика радиационно-химических реакций чрезвычайно трудна, если учесть неоднородность концентраций появляющихся активных частиц распределяющихся по шпорам. В кинетических расчетах нужно учесть процессы диффузии активных частиц из областей с большей концентрацией в области с наименьшей концентрацией. Серьезное рассмотрение кинетики радиационно-химических процессов возможно, однако оно приводит к системам нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, решение которых трудно даже с использованием ЭВМ. Обычно такие уравнения решают, делая ряд упрощающих предположений, т. е. получают приближенные решения.[35]

Кинетика реакций в разбавленных водных растворах часто может быть описана простым уравнением:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = k_1 P - k_2 ac - (k_3 + k_4) \cdot n^2 \quad (54)$$

где  $\frac{\partial n}{\partial t}$  - изменение концентрации радикалов со временем;  $P$  – мощность дозы, т. е. поглощенная энергия излучения, отнесенная к единице времени;  $c$  - концентрация растворенного вещества;  $k_1$  - число радикалов, образовавшихся на единицу дозы (за исключением тех радикалов, которые не могут выйти из области пространства, в которой они образовались; последние не встречаются молекул растворенного вещества и, следовательно, не участвуют в реакциях его превращения

под влиянием излучения);  $k_2$  - константа скорости реакции гибели радикалов путем взаимодействия с растворенным веществом;  $k_3$  - константа скорости рекомбинации радикалов путем соударения с молекулами жидкости;  $k_4$  - константа скорости реакции взаимодействия радикалов.

Число радикалов в  $1 \text{ см}^3$  никогда не бывает одинаковым, в случае, потери энергии ионизирующей частицы вдоль шпоры, в то время как, концентрация  $c$  одинакова во всем объеме системы. Характер и степень неоднородности должны учитываться при рассмотрении уравнения (54). По этой причине результаты расчетов по нему дают только качественную характеристику процесса.

Скорость химической реакции характеризуется скоростью исчезновения растворенного вещества:

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = k_2 \omega n c \quad (55)$$

где  $\omega$  - вероятность того, что при исчезновении радикала в результате взаимодействия с растворенной молекулой последняя изменяется химически.[35]

Концентрацию радикалов для стационарного состояния, входящую в формулу (55), можно найти, когда:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = 0 \quad (56)$$

Или

$$k_1 P - k_2 n c - (k_3 + k_4) \cdot n^2 = 0 \quad (57)$$

Если

$$k_2 c \gg (k_3 + k_4) \cdot n \quad (58)$$

то последним членом в выражении (57) можно пренебречь и, следовательно:

$$k_1 P = k_2 n c \quad (59)$$

Откуда легко найти  $n$ . Подставляя его в выражение (55), находим:

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = k_1 \omega P \quad (60)$$



т. е. в данном случае скорость изменения концентрации растворенного вещества не зависит от его концентрации. Дифференциальный ионный выход, определенный как частное от деления скорости реакции на скорость образования пар ионов в данный момент при этом не зависит ни от концентрации растворенного вещества, ни от мощности дозы. Если же

$$k_2 c \ll (k_3 + k_4) \cdot n \quad (61)$$

то в выражении (57) можно пренебречь вторым слагаемым, тогда

$$k_1 P = (k_3 + k_4) \cdot n^2 \quad (62)$$

Откуда

$$n = \left( \frac{k_1 P}{k_3 + k_4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (63)$$

Подставляя (63) в (55), получаем:

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = k_2 \omega c \left( \frac{k_1 P}{k_3 + k_4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (64)$$

т.е. скорость изменения концентрации растворенного вещества прямо пропорциональна его концентрации и квадратному корню из мощности дозы.

Образующиеся радикалы могут реагировать не только с исходными веществами, но и с продуктами реакции. В этом случае кинетическое уравнение (54) надо записать в виде:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = k_1 P - k_2 n c_1 - k'_2 n c_2 - (k_3 + k_4) \cdot n^2 \quad (65)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – концентрация исходного и образующегося вещества соответственно.

Если  $k_2 \approx k'_2$ , то выражение (65) можно записать

$$\frac{\partial n}{\partial t} = k_1 P - k_2 n c_0 - (k_3 + k_4) \cdot n^2 \quad (66)$$

где  $c_0 = c_1 + c_2$ .

Для случая, когда выполняется соотношение (58)

$$k_1 P = k_2 n c_0 \quad (67)$$

Отсюда находим

$$n = \frac{k_1 P}{k_2 c_0} \quad (68)$$

Подставляя (68) в (55), получаем

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{k_1 \omega P c}{c_0} \quad (69)$$

Интегрируя это выражение, находим

$$c = c_0 \cdot \exp\left(-\frac{k_1 P \omega t}{c_0}\right) \quad (70)$$

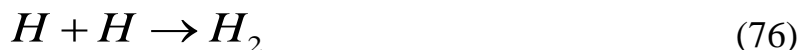
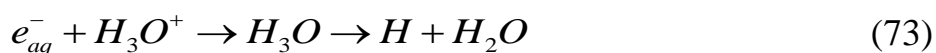
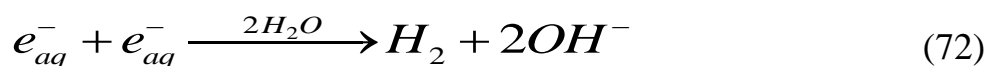
т. е. концентрация растворенного вещества экспоненциально уменьшается с увеличением поглощенной дозы. Такая зависимость наблюдается для реакции окисления гемоглобина в метгемоглобин под действием рентгеновских лучей,[35].

## 1.5 Водные растворы как дозиметрические системы

Как правило, рассматриваемые дозиметрические системы представляют собой разбавленные водные растворы. Поэтому химические превращения в них осуществляются преимущественно в результате косвенного действия ионизирующего излучения, то есть за счет продуктов радиационно-химического разложения воды [12]. Такими продуктами являются гидратированный электрон ( $e_{aq}^-$ ),  $H$ ,  $OH$ ,  $H_2$  и  $H_2O_2$ .

Активные частицы  $e_{aq}^-$ ,  $H$  и  $OH$  образуются в «шпорах». Концентрация радикалов в них довольно высока, и в начальные моменты времени эти частицы главным образом реагируют друг с другом. Соответствующие реакции таковы[12]:





По истечении некоторого промежутка времени (порядка  $10^{-9} - 10^{-10}$  с) «шпоры» за счет диффузии настолько расширяются, что концентрация радикалов в них становится соизмеримой с концентрацией растворенного вещества. С этого момента становятся вероятными реакции типа «радикал – растворенное вещество», которые и вызывают в значительной степени химические превращения в дозиметрической системе.

В результате реакций в «шпорах» образуются молекулярные продукты радиолиза воды –  $H_2$  и  $H_2O_2$ . Их начальные выходы, а также выходы радикалов, избежавших гибели в «шпорах», приведены в таблице 2 [12].

Таблица 2 – Выходы продуктов радиолиза воды под действием ускоренных электронов

$pH$	$G_{e_{aq}^-}$	$G_H$	$G_{OH}$	$G_{H_2O_2}$	$G_{H_2}$
0 – 2	3,05	0,6	2,95	0,8	0,45
4 – 9	2,8 – 2,9	0,6	2,8 – 2,9	0,75	0,45
12 – 13	3,05	0,55	2,9	0,75	0,4

В радиационной химии воды и водных растворов выходы этих продуктов обозначают символами  $G_X$  и  $G_{X_2}$  ( $X = e_{aq}^-$ ,  $H$  или  $OH$ ;  $X_2 = H_2$  или  $H_2O_2$ ). Таким обозначением подчеркивается, что эти выходы являются начальными. Рассматриваемые выходы могут отличаться от наблюдаемых экспериментально. Например,  $H_2O_2$  может возникать не только в «шпорах», но и в некоторых условиях за счет

рекомбинации радикалов  $OH$  в объеме раствора [36]. Очевидно, что в этом случае  $G(H_2O_2) > G_{H_2O_2}$ .

## 1.6 Влияние концентрации растворенного вещества и интенсивности излучения

Если облучать не чистую воду, а раствор какого-либо соединения, то радикалы  $H$  и  $OH$  будут реагировать с молекулами растворенного соединения, вызывая различные его превращения - окисление, восстановление, деструкцию, полимеризацию и т.д., вместо того, чтобы разрушать молекулярные продукты радиолиза воды. Исследование превращений различных соединений и позволило узнать, что при радиолизе воды образуются радикалы  $H$  и  $OH$ . В 1948 г. английским ученым Ф.Дейнтон экспериментально было обнаружено радикал гидроксила  $OH$ . Он облучал водные растворы акрилонитрила  $CH_2 = CHCN$ . Молекула акрилонитрила не имеет в своем составе атомов кислорода. При облучении молекулы акрилонитрила полимеризуются в полиакрилонитрил, и в нем появляется гидроксильная группа - группа  $OH$ . Она может появиться только в том случае, если образуется из воды. Аналогичным доказательством служит и образование фенола из бензола при облучении водного раствора бензола. Радикал  $H$  - атомарный водород - был обнаружен методом электронного парамагнитного резонанса. Недавно этим методом было подтверждено также образование радикала гидроксила. Атомарный водород является сильным восстановителем (способен легко отдавать свой электрон), а радикал гидроксила - окислителем (энергично отнимает электрон у других соединений), поэтому они оказывают противоположное действие на растворенные вещества, как это можно видеть на примере ионов железа и церия [17]:



Таким образом, превращение соединений в разбавленных растворах вызывается продуктами радиолиза воды. Этот процесс принято называть косвенным воздействием излучения. В концентрированных растворах превращение растворенного соединения может происходить также и в результате «прямого» действия излучения, когда оно взаимодействует непосредственно с молекулами растворенного вещества, вызывая их ионизацию, которая, в свою очередь приводит к появлению соответствующих радикальных и молекулярных продуктов. В очень разбавленных растворах преобладает косвенное воздействие, а в концентрированных - наблюдаются оба эффекта. Прямое действие происходит в растворах любой концентрации, но его величина пропорциональна электронной доле, т.е. отношению числа электронов данного вещества к числу электронов во всей системе. В разбавленных растворах электронная доля пропорциональна концентрации растворенного вещества, а в концентрированных растворах между электронной долей и концентрацией пропорциональности нет. Электронная доля рассчитывается следующим образом, например, в 40%-ном водном растворе серной кислоты содержится 5,4 моля  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 43,5 моля  $\text{H}_2\text{O}$ . Молекула кислоты имеет 50 электронов, молекула воды – 10, следовательно, общее количество молей электронов (1 моль электронов содержит  $6,02 \cdot 10^{23}$  электронов, как и грамм-моль любого вещества - молекул) составляет  $50 \cdot 5,4 + 10 \cdot 43,5 = 705$ , отсюда по определению, электронная доля воды составляет  $435:705 = 0,617$ , а кислоты -  $270:705 = 0,393$ .

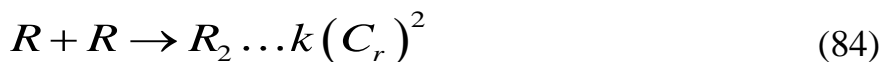
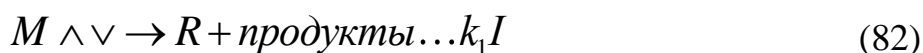
Разными исследователями были изучены превращения большинства соединений в водных растворах и установлены основные закономерности. В разбавленных растворах радиационно – химические выходы растворенных веществ малы. Для большинства соединений, превращения которых идут не по цепному механизму, выходы составляют 4-5 ионов или молекул на 100 эВ [17]. В наиболее концентрированных растворах они несколько повышаются, достигая 12 ионов или молекул на 100 эВ. Это повышение происходит вследствие того, что в концентрированных растворах с растворенным соединением могут реагировать и возбужденные излучением молекулы воды, ( $\text{H}_2\text{O}^{\bullet}$ ), которые в разбавленных растворах утрачивают свою энергию раньше, чем столкнутся и смогут вступить в реакцию с

молекулами растворенных соединений. В случае воды и водных растворов коэффициент полезного использования энергии излучения, таким образом, очень мал - не более 10%. Поэтому для промышленности могут иметь значение только цепные радиационно - химические процессы, либо такие процессы, когда образуется соединение, которое невозможно получить другими методами, либо, которое получается иными методами, но с большими затратами энергии. В качестве примеров подобных процессов можно привести окисление бензола в фенол, этилена в уксусный альдегид и др. Что же дало радиационной химии изучение радиолиза воды и водных растворов? Оно позволило создать общее представление о радиолизе чистых веществ и смесей различных веществ, о видах радиационно-химических реакций в растворах, о путях повышения и понижения выходов радиолитических превращений. Зная механизм радиолиза воды, легче изучать механизмы радиолиза других веществ, так как многие закономерности радиационно-химических превращений имеют общий характер. Применяя полученные данные о механизме радиолиза водных растворов, химики, сумели разобраться в радиационно-химических превращениях веществ, используемых для очистки и разделения радиоактивных изотопов и ядерного горючего, и разработать методы, устраняющие опасность появления больших количеств горючего газа при облучении воды в ядерном реакторе. Другое важное следствие касается радиационной биологии. Организмы - это (конечно, лишь с химической точки зрения) концентрированные водные растворы органических и неорганических веществ. Следовательно, происходящие в организмах процессы подчиняются общим закономерностям радиолиза водных растворов, знание которых упрощает биологам выяснение механизма биологических нарушений в организме при облучении[17].

Проведенные исследователями эксперименты показали что, с ростом концентрации растворенных веществ молекулярные выходы  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $\text{H}_2$  в процессе радиолиза уменьшаются.

При очень высоких интенсивностях излучения следует ожидать гомогенного распределения активных частиц в реакционной среде в отличие от ситуации при низких мощностях дозы, когда активные частицы концентрируются в шпорах

и цилиндрических треках. Следовательно, при очень интенсивном излучении должны выполняться кинетические закономерности, соответствующие для гомогенных систем. Но для того чтобы считать систему гомогенной, концентрация активных частиц в ней должна превысить начальную концентрацию активных частиц в шпорах, которая равна приблизительно 1 М. Эта концентрация активных частиц должна создаваться за время, сравнимое со временем диффузии на расстояние в несколько молекулярных диаметров, это около  $10^{-11}$  секунды. Для соблюдения этого условия мощности дозы следует, довести до уровня  $10^{19}$  рад/сек, что, очевидно, превосходит любой разумный предел. Тем не менее, закономерности гомогенной кинетики применимы к анализу влияния мощности дозы, так как рассматриваемые процессы разыгрываются в микросекундные временные интервалы. По сравнению со временем реакций внутри шпор, составляющим от  $10^{-8}$  до  $10^{-9}$  секунд, микросекунда – очень большое время, и при анализе кинетических процессов в системе следует учитывать только те активные частицы, которые сохранились после завершения всех начальных реакций в шпорах. Но ввиду того, что шпоры распределены гомогенно (при действии рентгеновского излучения или электронов), всю систему можно рассматривать как гомогенную. Таким образом, выполняются условия стационарного состояния для процессов образования и расхода активных частиц.[36] Используя схему реакций из диффузионно-кинетической теории:



для стационарного состояния, можно записать:

$$\frac{d[C]}{dt} = k_1 I - k_s C_s C_r - k C_r^2 = 0 \quad (85)$$

$$C_r = \frac{k_s C_s}{2k} \left\{ \left( 1 + \frac{4k k_1}{k_s^2 C_s^2} \right)^{1/2} - 1 \right\} \quad (86)$$

Доля радикалов, прореагировавших с растворенным веществом, будет равна:

$$\bar{N} = 1 - \frac{k_s^2 C_s^2}{2Ik k_1} \left\{ \left( 1 + \frac{4k k_1}{k_s^2 C_s^2} \right)^{1/2} - 1 \right\} \quad (87)$$

## 1.7 Дозиметрия в радиационной химии

**Дозиметрия** – методы измерения и расчетов доз в полях источников ионизирующих излучений. Основано на законах взаимодействия с веществом заряженных частиц, коротковолнового электромагнитного излучения и нейтронов.

В дозиметрии различают внешние и внутренние источники облучения. Внешними источниками могут быть: радиоактивные препараты, нейтронные источники, ускорители, ядерные реакторы. Внутреннее облучение протекает в растворах радиоактивных веществ, с которыми имеют дело при переработке продуктов ядерных реакций, или в растворах, специально предназначенных для проведения химических процессов [17].

В среде, содержащей равномерно распределенный  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучатель, мощность дозы равна:

$$P = 2140 C E \text{ рад/час} \quad (88)$$

где  $E$  – средняя энергия  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц (в МэВ),  $C$  – концентрация радиоактивного вещества (в мкюри/г).

В радиационной химии, дозиметрии и радиационной технологии диапазон исследуемых и применяемых на практике поглощенных доз очень широк ( $10^{-6}$ - $10^{12}$  Гр). С регистрацией сравнительно малых доз ( $10^{-6}$ -10 Гр) приходится иметь дело специалистам, которые занимаются вопросами индивидуальной дозиметрии, радиационной безопасности и защиты [17].

Измерение указанных доз осуществляется с помощью различных физических и химических методов: ионизационный, колориметрический, химический, люминесцентный, сцинтилляционный, твердотельный, трековый. Наиболее часто



дозиметрию проводят химическими методами, которые основаны на определении химических и физико-химических изменений, происходящих в веществе при облучении, (обычно измеряется выход удобной радиационно-химической реакции). Их преимущества: возможность измерений очень высоких доз, причем при очень больших мощностях дозы (до  $10^7$  p/c) [17].

**Дозиметрия химическая** – один из методов измерения энергии ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облучаемой среды. Основано на определении химических изменений, происходящих в результате действия излучений.

Если известен радиационно-химический выход  $G$ , т.е. число молекул или ионов данного продукта, образующихся при поглощении веществом 100 эВ излучения, концентрация этого продукта  $C$  и плотность вещества, подвергшегося излучению,  $d$ , то величины дозы ионизирующего излучения определяется из соотношения[17]:

$$D = \frac{kC}{Gd}, \quad (89)$$

где  $k$  – коэффициент, величина которого зависит от выбранной системы единиц.

К системам, применяемым, в химической дозиметрии предъявляются требования:

- 1) Независимость величины радиационно-химического выхода в заданном интервале доз при действии данного вида излучения от измеренной концентрации исходного продукта, температуры и мощности дозы;
- 2) Устойчивость к действию света и кислорода воздуха;
- 3) Легкость определения химических изменений, происходящих под действием ионизирующих излучений.

Для измерений доз в диапазоне 4 - 400 Гр широко используют ферросульфатную дозиметрическую систему (дозиметр Фрикке). Мерой поглощенной дозы служит концентрация соли трехвалентного железа, в которую при облучении водного раствора переходит соль двухвалентного железа. Система представляет со-

бой насыщенный воздухом водный раствор 0,001 – 0,01 М FeSO<sub>4</sub> или соли Мора и 0,001 М NaCl в 0,8 н. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Под действием излучений Fe<sup>2+</sup> в этом растворе окисляется до Fe<sup>3+</sup>. Концентрацию образующегося Fe<sup>3+</sup> удобнее всего определять спектрофотометрически. Молекулярный коэффициент экстинкции Fe<sup>3+</sup> в 0,8н. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 20° и 304 нм равен 2095. При действии фотонов и быстрых электронов с энергиями от 0,03 до 20 МэВ G=15,5. Величина G практически не зависит (в пределах 3 – 5%) от изменений концентрации Fe<sup>2+</sup> в пределах от 10<sup>-4</sup> до 10<sup>-2</sup> М, концентрации кислоты – от 0,1 до 5 М, мощности дозы – от 10 до 10<sup>10</sup> рад/с и от температуры – от 2 до 60°. При действии бета-излучения трития величина G снижается до 12,9 [17].

Для этих же целей используется цериевый дозиметр. Для определения доз до 10<sup>6</sup> рад используются разбавленные растворы Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> в 0,8 н. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Под действием излучений Ce<sup>4+</sup> восстанавливается до Ce<sup>3+</sup>. При действии γ-лучей и быстрых электронов, G=2,32. Величина G практически не зависит от изменений концентрации Ce<sup>4+</sup> от 10<sup>-5</sup> до 3,2\*10<sup>-2</sup> М и мощности дозы в широких пределах.

Для определения доз, начиная с 10 рад, используются насыщенные (0,3%) водные растворы трихлорэтилена в смеси с индикатором на HCl, выделяющийся при облучении, и водные растворы солей бензойной кислоты. Последние под действием излучений распадаются с образованием продуктов, люминесцирующих в УФ-свете. Используются также бихроматный, хлорбензольный, щавелевокислотный, глюкозный и другие дозиметры на основе жидкостей.

В химической дозиметрии нашли широкое применение метафосфатные стекла, содержащие небольшие количества серебра. Под действием излучений они приобретают желтоватую окраску, интенсивность которой в интервале от 6\*10<sup>4</sup> до 5\*10<sup>5</sup> пропорциональна поглощенной дозе. Серебро, содержащееся в метафосфатных стеклах, под действием излучений переходит из ионной в атомарную форму. Атомы серебра, возбужденные УФ-светом, являются центрами люминесценции в видимой части спектра. Благодаря этому становится возможным определять дозы, начиная с 10 рад [17].

Для определения пространственного распределения поглощенной энергии излучения предлагались гели агар-агара и желатины, содержащие различные красители.

В радиационной химии также широко применяют дозиметры на основе полимерных материалов, которые разделяются на пленочные дозиметры на основе прозрачных пластмасс (диапазон  $5 \cdot 10^2$ - $10^7$  Гр), на основе окрашенных пластмасс ( $10^3$ - $10^5$  Гр), радиохромные пленочные дозиметры ( $10^2$ - $10^6$  Гр), цветовые визуальные индикаторы дозы ( $10^3 - 3 \cdot 10^4$  Гр). В последнее время для дозиметрии в широком диапазоне доз ( $10 - 10^5$  Гр) используется образование свободных радикалов в аланине, которые измеряются методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [17].

### 1.8 Дозиметр Фрикке

К классическим методам дозиметрии, отвечающим в значительной мере перечисленным ранее требованиям, относится широко известный ферросульфатный метод (дозиметр Фрикке), основанный на использовании насыщенного воздухом  $(1-5) \cdot 10^{-3}$  М растворе соли Мора (либо  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) в  $0,4 H_2SO_4$  М с добавкой  $10^{-3}$  М  $NaCl$  для подавления влияния различных органических примесей [37]. При облучении раствора двухвалентное железо окисляется растворенным кислородом до трехвалентного, и выход реакции  $G(Fe^{3+})$  составляет 15,6 ион/100 эВ [12].

Эта система применительно к электронному излучению дает хорошие результаты вплоть до мощностей поглощенных доз порядка 10 Мрад/с.

Радиационно-химический выход системы практически не зависит от энергии электронов и от температуры вплоть до  $60^\circ C$  [38]. Основным недостатком этой дозиметрической системы является относительно невысокая верхняя граница измеряемой поглощенной дозы –  $4 \cdot 10^4$  рад, выше которой радиационно-химический выход начинает довольно резко падать из-за недостатка растворенного кислорода, участвующего в окислении ионов двухвалентного железа [38]. Уменьшение выхода  $G(Fe^{3+})$  наблюдается также при мощностях дозы выше 10М

рад/с., вследствие перекрывания треков первичных и вторичных электронов, приводящего к рекомбинации возникших свободных радикалов [12].

Главной количественной характеристикой любой реакции, протекающей под действием ионизирующего излучения, является радиационно-химический выход. Он определяется числом молекул, ионов свободных радикалов, атомов и т. п., возникающих (или разлагающихся) в системе при поглощении ею 100 эВ энергии ионизирующего излучения и обозначается буквой  $G$ . Для обозначения выхода образования какого-либо вещества после буквы  $G$  в круглых скобках пишут формулу этого вещества. Например,  $G(Se^{3+})$  есть число образовавшихся ионов  $Se^{3+}$  на 100 эВ. Для написания выхода разложения ставится знак минус. Например,  $G(-CH_3OH)$  обозначает число молекул  $CH_3OH$ , разлагающихся при поглощении 100 эВ [37].

Для определения радиационно-химического выхода  $G$  необходимо знать дозу и концентрацию образовавшегося или разложившегося в результате облучения вещества. Тогда радиационно-химический выход можно рассчитать по формуле (90).

$$G = \frac{c * N_A * 100}{D} \quad (90)$$

где  $c$  – концентрация вещества, М;

$N_A$  – число Авогадро;

$D$  – поглощенная доза, эВ/л.

Кроме того, поглощенную дозу можно рассчитать, зная энергию, сообщенную раствору и его массу по формуле (91):

$$D = \frac{Q}{M} \quad (91)$$

где  $D$  – поглощенная доза, Гр;

$M$  – масса образца, кг;

$Q$  – энергия, переданная электронным пучком, Дж.

Методы определения абсолютной величины  $G(Fe^{3+})$ :

## 1.9 Модифицированный дозиметр Фрикке

В работах [12, 41] было предложено использовать ферросульфатный раствор с добавками  $Cu^{2+}$  ионов для измерения доз в диапазоне от  $4 \cdot 10^4$  до  $10^7$  рад. Ферросульфатная дозиметрическая система с добавлением ионов меди  $Cu^{2+}$  называется модифицированным дозиметром Фрикке. Расширение диапазона определяемых доз по сравнению со стандартным дозиметром Фрикке обусловлено тем, что здесь  $G(Fe^{3+})$  существенно ниже. Он равен 0,62 иона/100 эВ, когда концентрация серной кислоты составляет 0,005 М [12, 42, 43]. На рисунке 5 изображены взвешенные реагенты  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  и  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .

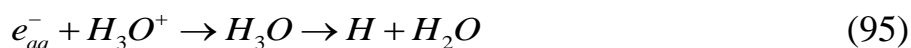
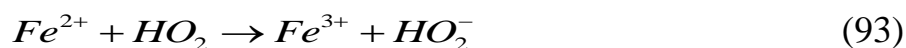


а)

б)

Рисунок 5 – а)  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  ; б)  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Величина  $G(Fe^{3+})$  в данной дозиметрической системе определяется совокупностью реакций [12]:



В таком случае справедливо выражение:

$$G(Fe^{3+}) = G_{OH} + 2G_{H_2O_2} - G_{e_{aq}^-} - G_H \quad (99)$$

Отметим, что в этой системе кислород в отличие от дозиметра Фрикке не расходуется при радиолизе за счет конкуренции реакции:



с реакцией  $H + O_2 \rightarrow HO_2$ .

Стандартный дозиметрический раствор имеет следующий состав:  $10^{-3}$  М  $FeSO_4$ ,  $10^{-2}$  М  $CuSO_4$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  М  $H_2SO_4$ . Данная дозиметрическая система рассматривалась рядом авторов [12,36,39, 41-41].

Показания его сравнительно малочувствительны к органическим примесям[12]. Поэтому для его приготовления можно применять бидистиллированную воду и реактивы обычной степени чистоты. Ионы  $Cu^{2+}$  понижают термическую устойчивость ферросульфата. По данным В. П. Трусковой и других[41, 44] раствор стабилен только в течение двух часов после приготовления. Поэтому в опытах необходимо использовать свежеприготовленные растворы. Из работы [12] следует, что термическую стабильность можно существенно повысить, если раствор предварительно облучить до такой дозы, чтобы оптическая плотность ионов  $Fe^{3+}$  при 304 нм была равна 0,62 (при толщине поглощающего слоя 1 см).

Измерение концентрации ионов  $Fe^{3+}$ , возникающих при облучении, рекомендуется производить спектрофотометрически по поглощению света при длине волны 304 нм [12].

Концентрация кислорода оказывает некоторое влияние на величину  $G(Fe^{3+})$ . Варьирование концентрации кислоты на 50 % приводит к изменению  $G(Fe^{3+})$  всего на 5 % [41]. Однако если концентрацию  $H_2SO_4$  увеличить до 0,4 М, то по данным Э. Харта [40],  $G(Fe^{3+})$  возрастает до 4,0 ионов/100 эВ.

Использование раствора указанного выше состава позволяет измерять дозы до  $Fe^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , а так же введения ионов  $Fe^{2+}$  или  $SO_4^{2-}$  в раствор этот предел можно повысить вплоть до  $10^7$  рад [40]. Однако при определении сравнительно высоких доз следует учитывать то обстоятельство, что  $G(Fe^{3+})$  несколько уменьшает-

ся, начиная с доз порядка  $4 \cdot 10^5$  рад [12]. В случае импульсного электронного пучка  $G(Fe^{3+})$  увеличивается, начиная с мощностей дозы порядка  $(10^8 - 10^9)$  рад/с [12].

Согласно [37], воспроизводимые результаты при использовании раствора состава  $10^3$  М  $FeSO_4$ ,  $1 \cdot 10^{-2}$  М  $CuSO_4$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  М  $H_2SO_4$ , могут быть получены при соблюдении следующих условий:

- раствор должен быть насыщен кислородом (достигается пропусканием кислорода через раствор в течение 30 минут);
- раствор должен проверяться по дозиметру Фрикке (для того, чтобы узнать, правильно ли была проведена операция насыщения кислородом);
- каждый раз должен готовиться новый раствор.

### **1.10 Методы диагностики сильноточного импульсного электронного пучка**

К настоящему времени в области стерилизации и обеззараживания водных растворов широкое распространение получили электронные ускорители с непрерывным пучком (энергия в несколько МэВ, мощность по пучку достигает сотни кВт) с производительностью достигающей  $10^3$  м<sup>3</sup>/час и более. Они характеризуются сравнительно медленной скоростью передачи энергии в обрабатываемый объект и обладают значительными габаритами, в зависимости от применяемого для ускорения напряжения (сотни, тысячи киловольт). Данные факторы определяют необходимость значительных капиталовложений и делают данный метод экономически оправданным лишь при огромных производительностях в сотни тысяч метров кубических воды в день. Для обеспечения безопасной работы подобного рода ускорителей требуется возведение отдельных помещений с повышенной радиационной защитой.

Вместе с этим существует ниша практического использования компактных ускорителей с мощностью 0,1 – 10 кВт (энергия пучка до 500 кэВ) [45] с возможностью генерации рентгеновского излучения, которые могли бы использоваться с

местной биологической защитой в обычных помещениях без каких-либо ограничений, возникающих при работе с ионизирующим излучениями. С помощью данных импульсных электронных ускорителей возможна генерация не только электронного пучка, но и импульсного рентгеновского излучения, которые и выступают в качестве обеззараживающего агента. Рентгеновское излучение обладает высокой проникающей способностью по сравнению с электронным излучением при энергии 500 кэВ. Поэтому более удобным инструментом для обеззараживания водных растворов является применение импульсного генератора рентгеновского излучения.

Использование быстротечных процессов формирования позволяет существенно уменьшить массогабаритные показатели оборудования при сохранении того же уровня ускоряющего напряжения, развивая мощности, не достижимые для ускорителей непрерывного действия (единицы ГВт). Увеличение скорости ввода энергии в ряде случаев позволяет использовать пороговые эффекты, невозможные при меньшей развиваемой мощности, которые в конечном итоге могут привести к снижению удельных энергозатрат для достижения аналогичного эффекта обеззараживания. Построение локальных, с малой производительностью, систем обеззараживания вод стало возможным в связи с появлением компактных импульсных ускорителей электронов с параметрами, подходящими для коммерческой реализации. Импульсные сильноточные ускорители в полной мере отвечают требованиям практического использования и являются наиболее экологически безопасным источником ионизирующего излучения.

Во многих направлениях практического использования, радиационный метод, основанный на данном типе ускорителей, является альтернативой тепловым и химическим методам, а также УФ методу обеззараживания, обладая рядом объективных преимуществ при промышленном освоении выпуска установок различной мощности: низкие удельные энергозатраты для достижения требуемого эффекта обеззараживания, высокая скорость поражающего воздействия на микроорганизмы, универсальность поражающего действия по всем видам микроорганизмов.



## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Экспериментальное оборудование

#### 2.1.1 Фотоэлектроколориметр КФК-2

Фотометрия — это метод количественного анализа, который основан на определении концентрации вещества по спектру поглощения, испускания или флуоресценции.

Выделяют несколько видов фотометрии в зависимости от характера возникающих изменений: колориметрия, турбидиметрия, нефелометрия, рефрактометрия, флуориметрия, поляриметрия и другие. Фотометрический анализ отличается высокой чувствительностью, достигающей в твердых образцах  $10^{-4} - 10^{-6}$  определяемого элемента, а в водных растворах  $10^{-5} - 10^{-7}$ . Среди биохимических методов количественного определения веществ в биологических объектах колориметрический метод получил наибольшее распространение [46].

Закон Бугера-Ламберта-Бера положен в основу колориметрического метода измерений, который гласит, что существует прямо пропорциональная зависимость (101) между концентрацией вещества в окрашенном растворе и степенью поглощения света данным раствором. При этом интенсивность поглощения света зависит от количества и природы растворенного вещества, длины волны падающего света, толщины слоя раствора, температуры раствора [46].

$$D = \Sigma * c * l \quad (101)$$

где  $D$  — оптическая плотность;

$\Sigma$  — коэффициент экстинкции, л/моль·см;

$c$  — молярная концентрация, моль/л;

$l$  — толщина слоя раствора, см.

Оптическая плотность (экстинкция) — это величина, определяющая степень поглощения света окрашенным раствором, равная логарифму отношения интенсивности света, падающего на раствор, к интенсивности света, прошедшего через раствор (102).

$$D = \lg\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (102)$$

где  $I_0$  – интенсивность света, падающего на раствор, Вт/м<sup>2</sup>;

$I$  – интенсивность света, прошедшего через раствор, Вт/м<sup>2</sup>.

Чем выше оптическая плотность, тем меньше света пропускает раствор. Для определения оптической плотности или светопропускания используют фотоэлектроколориметры.

Колориметр фотоэлектрический концентрационный (КФК-2) – это прибор, предназначенный для количественного определения вещества в окрашенных растворах в диапазоне волн от 315 до 980 нм по их оптической плотности или коэффициенту светопропускания. КФК-2 состоит из оптического блока (передняя часть прибора), где находятся осветитель, светофильтр, оптика, кюветное отделение, фотометрическое устройство и регистрирующий прибор, и блока питания (задняя часть), где расположен стабилизатор напряжения с выпрямителем и силовой трансформатор [46]. На рисунке 6 представлен фотоэлектродолориметр с обозначением его частей.

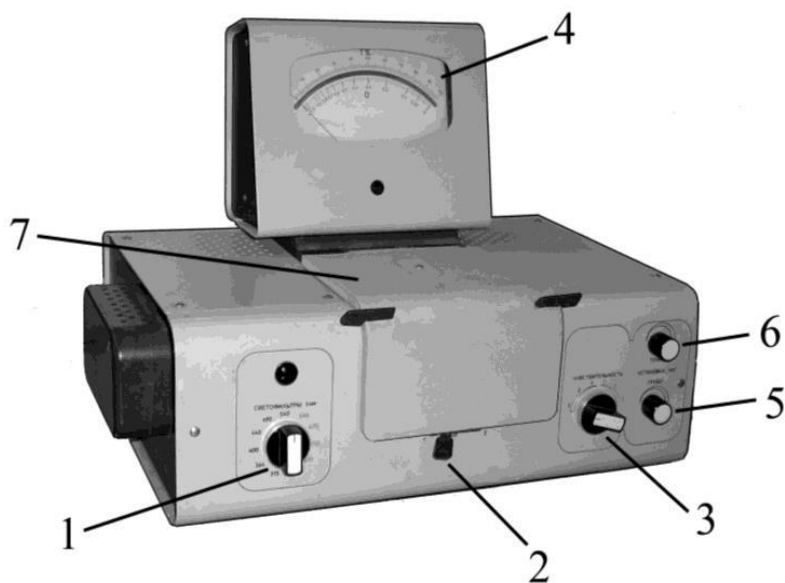


Рисунок 6 – Фотоэлектродолориметр КФК-2

1 – рукоятка установки светофильтра (около рукоятки маркировка по длине волны); 2 – ручка перемещения кювет в кюветном отделении; 3 – ручка включения чувствительности фотоприемников; 4 – микроамперметр (имеет две шкалы: по верхней измеряют коэффициент светопропускания, а по нижней – оптическую плотность раствора); 5 – ручка «грубой» настройки микроамперметра; 6 – установка «точной» настройки микроамперметра; 7 – крышка кюветного отделения

Световой поток лампы конденсируется с помощью специальных устройств, усиливается и проходит через светофильтр и кювету с исследуемым раствором и падает на приемник излучения. Световое излучение преобразуется в электрические сигналы, которые подаются на измерительный прибор. Показания микроамперметра пропорциональны световому потоку, проходящему через исследуемый раствор.

Технические характеристики КФК-2 [47]:

- спектральный диапазон работы фотоколориметра от 315 до 980 нм, весь спектральный диапазон разбит на спектральные интервалы, выделяемые с помощью светофильтров;
- пределы измерения на колориметре коэффициентов пропускания от 100 % до 5 % (оптическая плотность от 0 до 1,3);
- основная абсолютная погрешность колориметра при измерении оптической плотности изменяется от 0,0025 в нижней части шкалы до 0,05 в верхней;
- основная абсолютная погрешность колориметра при измерении коэффициентов пропускания не более  $\pm 1$  %;
- размах показаний, характеризующий случайную погрешность, не более 0,3 %;
- дополнительная погрешность колориметра при изменении температуры окружающего воздуха от 20 °С до 35 °С и от 20 °С до 10 °С – не более 0,3 основной погрешности;
- дополнительная погрешность колориметра от изменения напряжения сети на  $\pm 22$  В от номинального значения 220 В составляет не более 0,3 основной погрешности.
- рабочая длина кювет (набор кювет № 2): 50, 30, 20, 10, 5 мм;
- источник излучения – лампа галогенная малогабаритная КГМ6,3-15;
- приемники излучения: фотоэлемент Ф-26 для работы в спектральном диапазоне от 315 до 540 нм, фотодиод ФД-7К (ФД-24К) для работы в спектральном диапазоне от 590 до 980 нм;

- регистрирующий прибор – микроамперметр типа М907 со шкалой 100 делений или микроамперметр типа М 907-10 со шкалой, оцифрованной в коэффициентах пропускания и оптической плотности;
- потребляемая мощность колориметра, не более 75 В·А;
- питание фотоколориметра производится от сети переменного тока напряжением  $(220 \pm 22)$  В, частотой  $(50 \pm 0,5)$  Гц;
- температура окружающей среды при работе на колориметре должна быть  $(20 \pm 5)$  °С;
- относительная влажность воздуха работе на колориметре должна быть от 45 % до 80 %.

Шкала фотоэлектроколориметра, отражающая оптическую плотность, неравномерная, цена деления изменяется от 0,005 в начале шкалы до 0,1 в конце шкалы. Она представлена на рисунке 7.

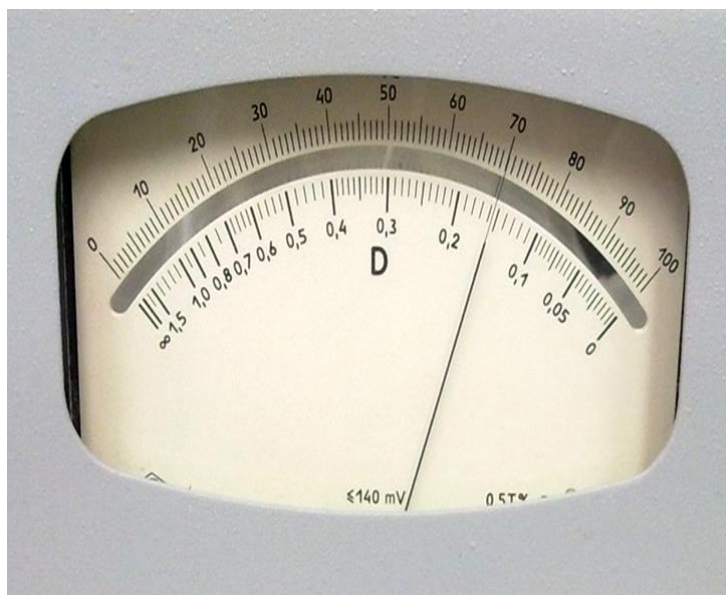


Рисунок 7 – Шкала фотоэлектроколориметра КФК-2

### 2.1.2 Фотоколориметрическое определение концентрации ионов $\text{Fe}^{2+}$ и $\text{Fe}^{3+}$ в воде

**Фотоколориметрия** – метод анализа основанный на измерении поглощения света окрашенными растворами в видимой области спектра (400-760 нм).

Фотоколориметрические методы, использующие сравнительно несложную аппаратуру, обеспечивают высокую точность (1-2%) и широко применяются в количественном анализе. Для этого определяемое вещество должно быть либо само окрашено, либо давать окрашенные продукты реакции при взаимодействии с реактивами. Окрашенное соединение должно быть устойчивым и прочным, а также иметь постоянный состав, отвечающий определенной химической формуле. Устойчивость окраски должна сохраняться не менее 15 минут. На устойчивость окраски соединений влияет рН среды, количество добавляемого реактива, а также порядок добавления-сливания реактивов [48,49].

Интенсивность окраски раствора находится в непосредственно прямой зависимости от концентрации растворенного вещества и толщины слоя раствора.

Данная зависимость выражается главным законом колориметрии – **законом Бугера-Ламберта-Бера**: *растворы одного того же вещества при одинаковой концентрации этого вещества и толщине слоя раствора всегда поглощают равное количество световой энергии, т.е. светопоглощение таких растворов одинаковое.*

Если пучок лучей белого света пропустить через стеклянную кювету, наполненную окрашенным прозрачным раствором, то интенсивность света будет ослабевать в результате поглощения лучистой энергии окрашенными частицами. Поэтому интенсивность излучения, прошедшего через кювету с окрашенным раствором, будет меньше интенсивности пучка света, входящего в кювету [48,49,50].

Закон Бугера-Ламберта-Бера можно выразить уравнением:

$$I_i = I_0 10^{-\varepsilon c l} \dots I_i = I_0 \quad (103)$$

где  $I_i$  – интенсивность светового потока, прошедшего через раствор;

$I_0$  – интенсивность падающего на раствор светового потока;

$\varepsilon$  – коэффициент поглощения света, постоянная величина;

$l$  – толщина слоя раствора, см;

$c$  – концентрация раствора.

$$\lg \frac{I_i}{I_0} = -\varepsilon cl \quad (104)$$

Величину  $\lg \frac{I_i}{I_0}$  называют оптической плотностью раствора D:

$$D = \lg \frac{I_i}{I_0} = \varepsilon cl \quad (105)$$

Оптическая плотность прямо пропорциональна концентрации окрашенного раствора и толщине слоя раствора. Если графически изобразить зависимость оптической плотности от концентрации окрашенного раствора, то, откладывая по оси абсцисс концентрацию раствора, а по оси ординат его оптическую плотность, получим прямую, проходящую через начало координат – **калибровочный график** [48,49,50].

По измеренному значению оптической плотности из калибровочного графика можно найти неизвестную концентрацию вещества в исследуемом растворе. При расчете концентрации необходимо учесть разбавление или концентрирование объема пробы [48,49].

$$C = \frac{V * C_0}{V_1} \quad (105)$$

где  $C$  – концентрация в исследуемом растворе, моль/л;

$C_0$  – концентрация из калибровочного графика, моль/л;

$V$  – объем колбы, мл;

$V_1$  – объем пробы, мл.

### 2.1.3 Спектрофотометр ПЭ – 6100 УФ

Спектрофотометры предназначены для измерения пропускания или оптической плотности в диапазоне 190—1100 нм. Источником УФ излучения служат водородная или дейтериевая лампа. Данные источники излучают сплошной спектр в интервале 180—375 нм. В одинаковых рабочих условиях дейтериевая лампа дает излучение большей интенсивности, чем водородная.

Для измерения оптической плотности или пропускания в УФ области спектра требуются кюветы из кварцевого стекла, т. к. обычное стекло сильно поглощает это излучение [51].

Источником видимого излучения служит лампа накаливания с вольфрамовой нитью, излучающая сплошной спектр в области 315—1100 нм.

В спектрофотометрах в качестве устройства для выделения части излучения применяют монохроматоры двух типов: призму и дифракционную решетку, которые позволяют непрерывно менять длину волны [52].

### **Характеристики спектрофотометра ПЭ – 6100 УФ**

Спектрофотометр ПЭ-6100УФ (рисунок 8) разработан специально для выполнения всех фотометрических методик количественного анализа в соответствии с лабораторными требованиями всех отраслей промышленности, решения аналитических задач в таких областях, как клиническая химия, биохимия, защита окружающей среды, энергетика, металлургические, пищевые, химические лаборатории, в нефтехимии и других сферах контроля качества [53,54].

С помощью встроенного программного обеспечения реализованы следующие режимы работы:

- 1) Основной режим – поглощение, Пропускание и Измерение концентрации;
- 2) Количественный режим – создание и использование сохраненного уравнения и калибровочной кривой;
- 3) Режим сканирования – спектральный скан образца в любой выбранной спектральной области, с установленной скоростью и разрешением;
- 4) Кинетика – измерение зависимости поглощения от времени для подсчета скорости реакции;
- 5) Многоволновой режим – измерение на многих длина волн с целью определения состава образца;
- 6) ДНК/Протеин – расчет концентрации и чистоты ДНК.

Данный спектрофотометр имеет 4-х позиционный держатель для кювет 10x10 мм и 3-х позиционный держатель для кювет 10-100мм\*24 мм, которые входят в комплект поставки для унификации решаемых задач [53,54].

Поставляемые в комплекте держатели-заглушки позволяют использовать также нестандартные или импортные кюветы (ширина 12мм).

Встроенный мощный процессор, позволяет проводить все аналитические измерения без подключения к персональному компьютеру. Большой информативный жидкокристаллический экран, (320x240 точек) обеспечивает наглядность проводимых измерений. Интуитивно-понятный интерфейс позволяет работать без предварительного обучения, также, пуско-наладка не требуется [53,54].

Данное оборудование имеет химически стойкий корпус с брызгозащитной клавиатурой, благодаря которой обеспечивается продолжительный срок службы. В таблице 3 представлены все технические характеристики спектрофотометра .



Рисунок 8 – внешний вид спектрофотометра

Таблица 3 – Технические характеристики

Спектральный диапазон длин волн, нм	190...1100
Спектральная ширина щели, нм	1,8
Оптическая схема двухлучевая; монохроматор, штр/мм	1200
Точность установки длины волны, нм	±0,3
Воспроизводимость длины волны, нм	±0,2
Скорость сканирования (высокая, средняя, низкая, максимальная), нм/мин	3000
Фотометрическая точность, % Т	±0,3
Фотометрическая воспроизводимость, % Т	±0,15
Фотометрический диапазон	0...200 % Т , -0,3 -3 А, 0...9999 Conc.



*Продолжение таблицы 3 – Технические характеристики*

Рассеянный свет	0,05 % Т, 220, 340 nm
Дрейф нулевой линии	<0,002 А/час при 500 nm
Дисплей	5 дюймов LCD (320×240 точек)
Шум	±0,001 А (200...1000 nm)
Режимы работы	основной, количественный, сканирование, кинетика, многоволновой, ДНК/протеин
Источники света	дейтериевая и галогеновая лампы
Цифровой выход	USB порт и параллельный порт принтера
Питание	220 В, 50 Гц
Габаритные размеры, мм	600×450×200
Масса, кг	32

#### **2.1.4 Импульсный электронный ускоритель электронов «Астра –М»**

В данной исследовательской работе в качестве экспериментальной установки был использован импульсный ускоритель электронов Астра – М.

Как говорится в источнике [55], электронный ускоритель служит для получения пучков электронов высоких энергий. В основе его работы заложен принцип взаимодействия электронов с электрическим и магнитным полями.

Электрическое поле напрямую совершает работу над частицей, увеличивая её энергию, в то время как магнитное поле с помощью силы Лоренца отклоняет частицу, не изменяя её энергию, тем самым задавая орбиту, по которой движется частица. Ускорители по типу конструкции можно разделить на две большие группы: линейные и циклические. В линейных ускорителях пучок заряженных частиц проходит ускоряющий промежуток один раз, а в циклических частицы движутся по замкнутым траекториям, проходя ускоряющие промежутки по многу раз.

Наибольшее распространение в промышленности получили небольшие линейные ускорители электронов, либо электростатические, либо импульсные, на энергию 0,1÷5 МэВ. В импульсных ускорителях высокое напряжение создается импульсным трансформатором при разряде большого количества конденсаторов.

Самыми популярными в промышленности являются небольшие линейные ускорители электронов на энергии от 0,1 до 5 МэВ, которые можно условно разделить на две группы: электростатические и импульсные. Высокое напряжение в

импульсных ускорителях создается при разряде большого количества конденсаторов на импульсный трансформатор.

Области применения электронных ускорителей: обработка материалов электронным пучком, для придания новых свойств вследствие радиационной полимеризации, вулканизации, модифицирования поверхностных слоев; стерилизация продуктов питания, медицинского оборудования и материалов; очистка сточных вод, выбросов газов; источники гамма-излучения для рентгеновской дефектоскопии; электронно-лучевая сварка.

Ускоритель заряженных частиц АСТРА-М (рисунок 9) относится к линейным импульсным электронным ускорителям промышленного назначения. АСТРА-М позволяет получать пучки электронов, из взрыво-эмиссионной плазмы, с энергией 350-500 кэВ, при длительности импульса до 300 нс и мощностью пучка до 20 Дж. При этом величина полного тока вакуумного диода может достигать величины 3 кА.

Импульсный ускоритель имеет следующие параметры: ускоряющее напряжение  $U$  от 450 до 470 кВ, ток пучка до 1,2 кА, длительность импульса напряжения (по основанию) порядка 300 нс, энергия электронного пучка за импульс до 20 Дж, частота следования импульсов до 50 имп/с [56].

Импульсный электронный ускоритель «Астра – М» включает в себя: форвакуумный безмасляный насос, вакуумный криогенный насос, вакуумный затвор, вакуумный диод, биологическая защита, стойка, источник питания, высоковольтная часть и панель управления.

Основным назначением импульсного электронного ускорителя АСТРА-М является очистка и обеззараживание промышленных сточных вод.

Работа электронного ускорителя АСТРА-М представляет собой разряд батареи емкостных накопителей на электронный диод. Промежуточные формирующие линии (ДФЛ, ОФЛ, полосковые линии и т.д.) в ускорителе отсутствуют. Вследствие этого, форма импульса напряжения на нагрузке – электронном диоде – имеет квазисинусоидальную форму.



Рисунок 9 – Внешний вид импульсного сильноточного электронного ускорителя АСТРА-М. ИП-источник питания; 1- импульсный трансформатор  $T_1$ ; 2- корпус импульсного генератора; 3 – компрессор криовакуумного насоса; 4 – кожух местной биологической защиты (вакуумная камера ускорителя расположена внутри кожуха).

Для проведения данного исследования был использован режим обработки раствора в стационарном режиме, который схематически представлен на рисунке 10.

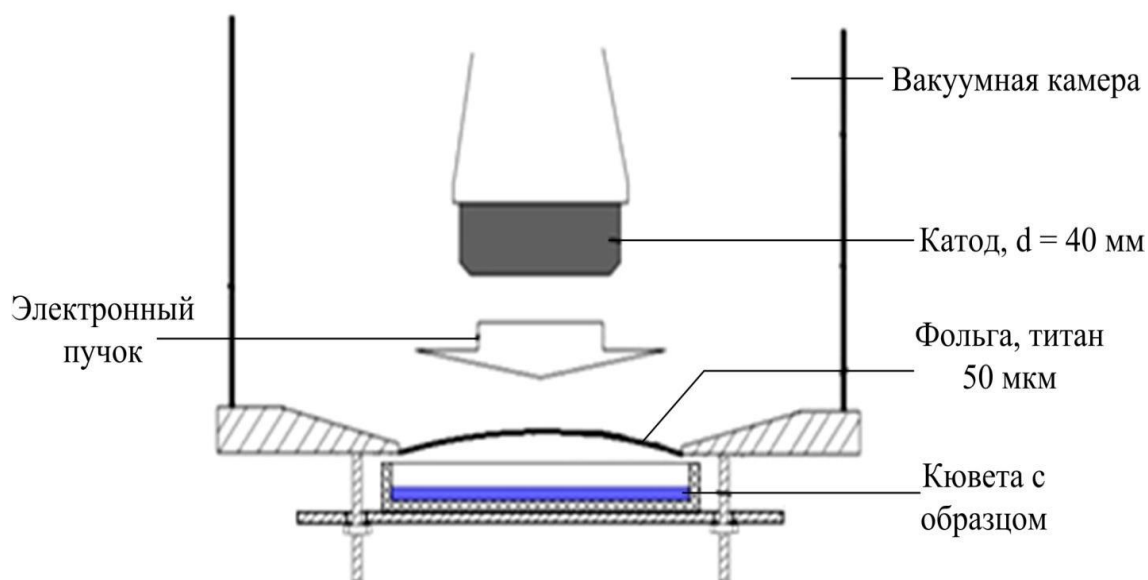


Рисунок 10 – Схема обработки водных растворов в стационарном режиме

Обработка растворов в стационарном режиме осуществлялась в стеклянных кюветах диаметром 103 мм. Данная кювета размещалась на удерживающем устройстве строго над выводным окном ускорителя. Диаметр электронного пучка

был заведомо меньше диаметра облучаемого раствора, то есть, все электроны попадали в кювету и взаимодействовали с раствором.

Принцип генерации электронного пучка следующий [56]. Вакуумная система обеспечивает в вакуумном диоде вакуум порядка  $10^{-6}$  Торр источник питания обеспечивает работу высоковольтной части ускорителя. Высоковольтный импульс подается на катод. То есть, формируется разница потенциалов в 500 кВ между катодом и фольгой выводного окна ускорителя, за счет которой и производится ускорение электронов. После набора энергии, электроны проходят через титановую фольгу выводного окна ускорителя, и выходят в атмосферу воздуха, где и используются для обработки различных образцов.

Обработка растворов в проточном режиме проводится следующим образом. В пластиковый бак заливается исходный раствор, затем, с помощью насоса, работа которого управлялась с помощью блока питания, этот раствор подавался в проточный реактор. Конструкция реактора позволяет подавать обрабатываемые растворы в зону облучения в виде тонкого слоя. Образование такого слоя обеспечивается за счет фольги выводного окна ускорителя и фольги реактора, сведенных друг к другу на расстояние 0,8 мм. После обработки раствор собирался в стеклянный сосуд и анализировался.

## **2.2 Определение концентрации трехвалентного железа ( $\text{Fe}^{3+}$ )**

### **2.2.1 Выбор методики определения концентрации трехвалентного железа**

Для данного эксперимента используется методика, приведенная в ГОСТ 4011 [57], т.к. исследуемый дозиметрический раствор на основе дистиллированной воды, кроме того этот метод более точен. Также в этом ГОСТе приведены методы измерения массовой концентрации общего железа для питьевой воды. Методика определения концентрации общего и трехвалентного железа отличается использованием аммиака.

Кроме данного метода анализа, существуют различные методики, которые описаны в Реестре.

Реестр является официальным источником информации о допустимости применения методик измерения для целей государственного и производственного экологического контроля в области природопользования и охраны окружающей среды. Разрабатывает методики не только ФБУ «ФЦАО», но и другие организации.

Данный Реестр имеет следующие разделы [58]:

- КХА вод (методики КХА сточной, поверхностной, подземной и питьевой воды);
- КХА почв, грунтов, донных отложений, осадков сточных вод, отходов производства и потребления;
- КХА промышленных выбросов в атмосферу, атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны;
- общие вопросы (инструкции по отбору проб, проверка химических реактивов с истекшим сроком гарантийного хранения, идентификация, техника безопасности и т. д.);
- токсикологические методы контроля.

В Реестр включены методики, использующие различные методы анализа: спектрофотометрический, титриметрический, хроматографический, включая ионную, газожидкостную и жидкостную хроматографию, инверсионно-вольтамперометрический, атомно-абсорбционный, флюориметрический, ИК-спектрофотометрический, рентгенофлуорес-центный, потенциометрический, хромато-масс-спектрометрический, гравиметрический, атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой.

В методике ПНД Ф 14.1:2:4.50 [59] приведена методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Эта методика распространяется на различные виды вод, она менее чувствительна к примесям и условиям измерений. Не смотря на то, что данная методика предназначена для изме-

рения концентрации общего железа, она может быть использована и для определения концентрации трехвалентного железа. Единственным отличием в данном случае будет то, что при определении концентрации  $\text{Fe}^{3+}$  не будет использоваться аммиак, т.е. среда, в которой будут проводиться измерения, будет слабокислой, что позволит измерять концентрацию только трехвалентного.

Диапазон измерений при использовании этой методики находится в пределах от 0,05 до 10 мг/л. В таблице 4 приведены значения относительной погрешности для трех диапазонов измерений, при уровне доверительной вероятности 0,95 [59].

Но методика, приведенная в [59] не единственная, которая могла бы быть использована в данной работе.

Таблица 4 – Диапазон измерений, показатели неопределенности измерений

Диапазон измерений, мг/л	Относительная погрешность, %
От 0,05 до 0,5 включительно	24
От 0,5 до 5 включительно	15
От 5 до 10 включительно	10

Диапазон измерения массовой концентрации общего железа без разбавления пробы от 0,10 до 2,00 мг/л. В этом интервале суммарная погрешность измерения с вероятностью 0,95 находится в пределах от 0,01 до 0,03 мг/л, т.е. не превышает 15 %, но, в то же время, не менее 0,5 %..

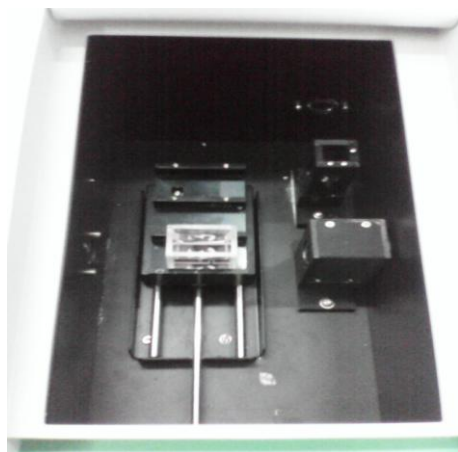
## 2.2.2 Определение концентрации трехвалентного железа

Для определения концентрации трехвалентного железа используется методика, приведенная в ГОСТ 4011 [57], а так же в Приложении Б. Согласно этой методике, отбирается до 50 мл пробы, в колбу объемом 50 мл. В рассматриваемом эксперименте, поскольку исследуются достаточно большие концентрации ионов железа, отбирается по 1 мл каждой пробы. Затем в колбы приливают по 1 мл аммония хлористого (2 М р-р). После чего приливают 1 мл сульфосалициловой кислоты (20 % раствор) и 0,1 мл соляной кислоты (3:2) в каждую колбу, после чего

доводят объем раствора до 50 мл и взбалтывают. Далее проводят колориметрию на длине волны 540 нм в кюветах с толщиной слоя 30 мм.

Со спектрофотометра снимается показание оптической плотности и рассчитывается концентрация ионов трехвалентного железа по формуле (106), но значение коэффициента экстинкции в этом случае равно 4940 л/(моль·см).

Установка кюветы с исследуемым раствором и снятие показаний оптической плотности представлены на рисунке 11.



а)



б)

Рисунок 11 – Спектрофотометр (а – установка кювет; б – снятие показаний)

Концентрация ионов трехвалентного железа рассчитывается по формуле:

$$c = \frac{D - D_0}{\Sigma} * \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{пробы}}} M [Fe], \quad (106)$$

где  $c$  – концентрация, мг/л;  $Fe^{2+}$

$D, D_0$  – оптическая плотность пробы и холостой пробы соответственно;

$\Sigma$  – коэффициент экстинкции, 4940 л/(моль·см);

$V_{\text{колбы}}$  – объем, до которого доводится проба перед колориметрированием, мл;

$V_{\text{пробы}}$  – объем пробы, взятой для анализа, мл;

$M [Fe]$  – молекулярный вес железа, 56000 мг/моль.

## 2.3 Подготовка образцов к эксперименту

### 2.3.1 Приготовление модифицированного дозиметра Фрикке по методике

Модифицированный дозиметр Фрикке отличается от дозиметра Фрикке, наличием ионов меди. Состав модифицированного дозиметра Фрикке следующий: 56 мг/л  $Fe^{2+}$  и 0,01M  $H_2SO_4$  и 0,1M  $Cu^{2+}$ . При приготовлении раствора модифицированного дозиметра Фрикке по методике, основывались на результатах указанных в работе [60-64].

Часть реагентов осталась прежней, как и в дозиметре Фрикке, поэтому, не выполняя предварительных расчетов, можно заключить, что для приготовления 1л модифицированного дозиметра Фрикке необходимо 278 мг сернокислого железа, а серной кислоты в 40 раз меньше, чем для дозиметра Фрикке (107). Расчет массы медного купороса поводится в соответствии с формулой (110), принимая во внимание исходные данные (108 – 111), [60-64].

$$V[H_2SO_4]_{МДФ} = \frac{V[H_2SO_4]_{МДФ}}{40} = \frac{21,7}{40} = 0,54 \text{ мл}, \quad (107)$$

$$C_M [Cu^{2+}] = 0,1M, \quad (108)$$

$$M [Cu^{2+}] = 64 \text{ г} / \text{моль}, \quad (109)$$

$$M [CuSO_4 * 5H_2O] = 250 \text{ г} / \text{моль}, \quad (110)$$

$$V_{p-pa} = 1 \text{ л}, \quad (111)$$

Массу, необходимую для получения 0,1 М медного купороса можно определить по формуле (112):

$$m [CuSO_4 * 5H_2O] = C_M [Cu^{2+}] * M [CuSO_4 * 5H_2O] * V_{p-pa} = 0,1 * 250 * 1 = 25 \text{ г}. \quad (112)$$

Для приготовления модифицированного дозиметра Фрикке объемом 1 л требуется колба объемом, соответственно, 1 л. В эту колбу наливается некоторое количество дистиллированной воды, затем приливают необходимое количество серной кислоты (0,54 мл) и взбалтывают. В полученный раствор всыпают навески



сернокислого железа (278 мг) и медного купороса (25 г). Доводят объем раствора дистиллированной водой до риски и взбалтывают до полного растворения сыпучих реагентов [60-64].

Внешний вид приготовленного в колбе объемом 1 л модифицированного дозиметра Фрикке представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Внешний вид приготовленного модифицированного дозиметра Фрикке

По формуле определяем, сколько мг/л  $\text{FeSO}_4$  содержится в 1 мл облученного модифицированного дозиметрического раствора:

$$m(\text{FeSO}_4) = \frac{56 \text{ мг} / \text{л} * 1 \text{ мл}}{50 \text{ мл}} = 1,12 \text{ мг} / \text{л} \quad (113)$$

Таблица 5 - Описание образцов для модифицированного дозиметра:

№ образца	Описание	Количество реагентов
1	$\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}} + \text{FeSO}_4 + 0,01\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$	1000 мл + 278 мг + 0,54 мл + 25 мг

Объем анализируемого раствора определялся по количеству концентрации железа в модифицированном дозиметре. Описание анализируемых образцов представлено в таблице 6.

Таблица 6 - Описание анализируемых образцов

№ образца	Описание	
1,1'	Исследуемый образец № 3 + $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 2М раствор + $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S}$ , 20% раствор + $\text{HCl}$ (3:2) → доводим до метки <b>50 мл</b> $\text{H}_2\text{O}_{\text{дист}}$	<b>0,5 мл</b> <b>1 мл</b> <b>1 мл</b> <b>0.1 мл</b>

Анализ проводился по методике определения трехвалентного железа с сульфосалициловой кислотой, который представлен в приложении Б.

### **2.3.2 Эксперимент с модифицированным дозиметром Фрикке**

Настоящий эксперимент проводился с целью сопоставления и проверки результатов, приведенных в литературе и полученных на практике [60-64], а так же определения на практике значений поглощенной дозы, до которых можно использовать, в следующих исследованиях, модифицированных дозиметр Фрикке.

Для проведения данного исследования, мы основывались на работе [60-64], полученных результатов и расчетах при проведении эксперимента.

Эксперимент был проведен следующим образом. Раствор модифицированного дозиметра Фрикке наливали в стеклянную кювету диаметром 103 мм с глубиной слоя 1 мм. Объем помещаемого в кювету раствора составлял 10 мл. Затем, располагали кювету перед выходным окном ускорителя и облучали. Для каждой дозиметрической системы была проведена серия экспериментов с изменением числа импульсов от 5 до 90, за один импульс брали 8 Дж. При проведении эксперимента была измерена энергия в импульсе с помощью калориметра, и эта энергия составила 40 Дж. После этого был проведен химический анализ раствора на содержание в нем трехвалентного железа, по результатам которого были рассчитаны поглощенные дозы.

Из работы [60-64] было установлено, что при измерении концентрации двухвалентного железа в случае модифицированного дозиметра Фрикке с помощью вышеприведенной методики было получено, что во всех образцах (как в исходном, так и в облученных) двухвалентного железа нет. То есть, данная методика измерения двухвалентного железа в случае модифицированного дозиметра Фрикке совершенно не применима. По-видимому, это связано с влиянием ионов меди  $Cu^{2+}$  в растворе, т.к. это единственное отличие модифицированного дозиметра Фрикке от дозиметра Фрикке. По этой причине в случае с модифицированным дозиметром Фрикке измерялось только трехвалентное железо.

По методике, концентрация трехвалентного железа получилось 30 мг/л вместо 56 мг/л, исходя, из полученных результатов было решено ввести поправочный коэффициент. Увидели, что на изменение концентрации трехвалентного железа влияет добавление  $\text{CuSO}_4$ . Полученные результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Результаты расчета

№ образца	Концентрация Fe (III), мг/л	Среднее значение концентрации	Оптическая плотность пробы
1	24,94 мг/л	24,94	0,027
1'	24,94 мг/л		0,027
2	30,61 мг/л	31,75	0,032
2'	32,88 мг/л		0,034
3	34,01 мг/л	32,31	0,035
3'	30,61 мг/л		0,032
0	Холостая проба		0,005

0, 0' – две одинаковые пробы одного исследуемого образца для точного определения оптической плотности.

При подготовке образца было использовано работ [60-64], в котором ссылаются на другие работы и навели раствор по ее методике и дали большую дозу энергии 20 импульсов и получили 30 г, и получили раствор без серных кислот порядка 2,3мг. Поэтому мы должны учитывать, что в сульфате меди присутствует двухвалентное и трехвалентное железо при наведении. Учитываю все эти моменты, можем сделать вывод, что не были учтены условия хранения сульфата железа, что привело к низкой концентрации и из-за этого вводим поправочный коэффициент.

### 2.3.3 Подготовка образца с учетом поправочного коэффициента

При подготовке образца по методике было выявлено, что концентрация железа в растворе увеличивается, таким образом, были проведены серии экспериментов, в результате чего, нами было установлено, что  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{SO}_4$  изменился в процессе хранения. Исходя из полученных результатов, была проведена подготовка образцов, основываясь на поправочный коэффициент, полученный после

нескольких серий экспериментов, при приготовлении раствора модифицированного дозиметра Фрикке.

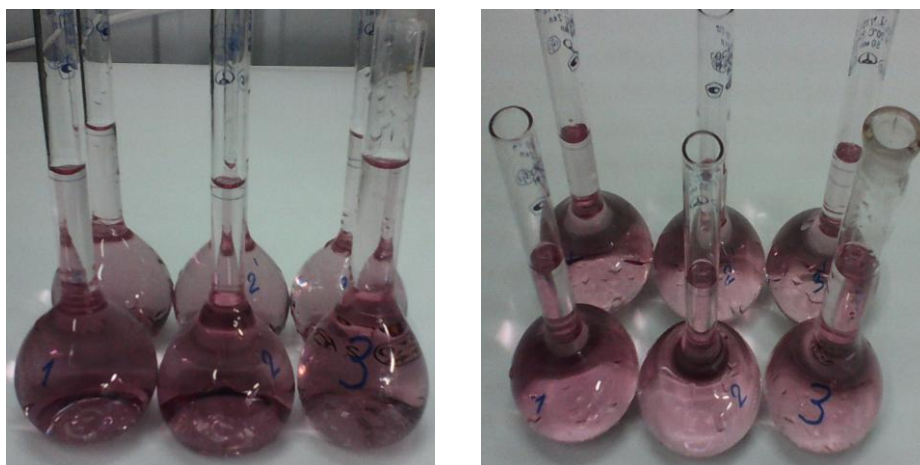


Рисунок 13 - Модифицированный дозиметр Фрикке после облучения и добавления сульфосалициловой кислоты с солями железа в кислой среде с образованием красного комплекса железа

После введения поправочного коэффициента был приготовлен раствор, для облучения импульсным электронным пучком и определения содержания трехвалентного железа в растворе модифицированного дозиметра Фрикке, и измерения оптической плотности были проведены реакции с сульфосалициловой кислотой с солями железа в кислой среде с образованием красного комплекса железа, как представлено на рисунке 13.

Результаты, полученные по методике определения концентрации трехвалентного железа и оптической плотности раствора модифицированного дозиметра Фрикке, представлено в таблице 7. Исходя из этих расчетов, вводим в следующие измерения поправочный коэффициент равный 30 мг/л.

$$m[FeSO_4 \cdot 7H_2O] = \frac{56 \text{ мг/л} \cdot 278 \text{ мг}}{30 \text{ мг/л}} = 518,9 \text{ мг} \quad (114)$$

Таблица 8 – Раствор модифицированного дозиметра Фрикке после введения поправочного коэффициента

№ образца	Описание	Количество реагентов
1	$H_2O_{\text{дист}} + FeSO_4 + 0,01M H_2SO_4 + 0,1M CuSO_4$	1000 мл + 519 мг + 0,54 мл + 25 мг

Анализируемой пробы добавляем 1 мл, т.к. концентрация превышает нормы. Добавление реагентов остается тем же самым, как в приведенной выше таблице. Но, для полной достоверности эксперимента проводим измерения без добавления  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{SO}_4$  и облучаем полученный раствор подавая на него 20 импульсов.

Таблица 9 – Результаты концентрации Fe(III) после добавления поправочного коэффициента

№ образца	Концентрация Fe (III), мг/л	Среднее значение концентрации	Оптическая плотность пробы
1	49,3 мг/л	51,29	0,099
1'	53,28 мг/л		0,106
2	2,27	$\text{CuSO}_4$	20 импульсов

После добавления поправочного коэффициента, концентрация трехвалентного железа приблизилось к теоретическому значению, как видно из таблицы 9.

## 2.4 Результаты эксперимента

Проанализировав полученные ранее результаты по методике и с добавлением поправочного коэффициента, были проведены еще серии экспериментов с учетом всех условий, недостатки реагента, неправильное хранение и добавлением  $\text{CuSO}_4$ . Так как,  $\text{CuSO}_4$  содержит двухвалентное железо, что очень сильно влияет на определение концентрации трехвалентного железа. Полученные результаты представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчета

№ образца	Концентрация Fe (III), мг/л	Среднее значение концентрации железа	Оптическая плотность пробы
0			0,004
1	2,27	1,99	0,008
1'	1,70		0,007
2	26,64	26,36	0,051
2'	26,073		0,050
3	51,58	50,92	0,095
3'	50,25		0,082
4	53,68	54,57	0,141
4'	55,46		0,117
5	55,93	56,32	0,128
5'	56,71		0,109

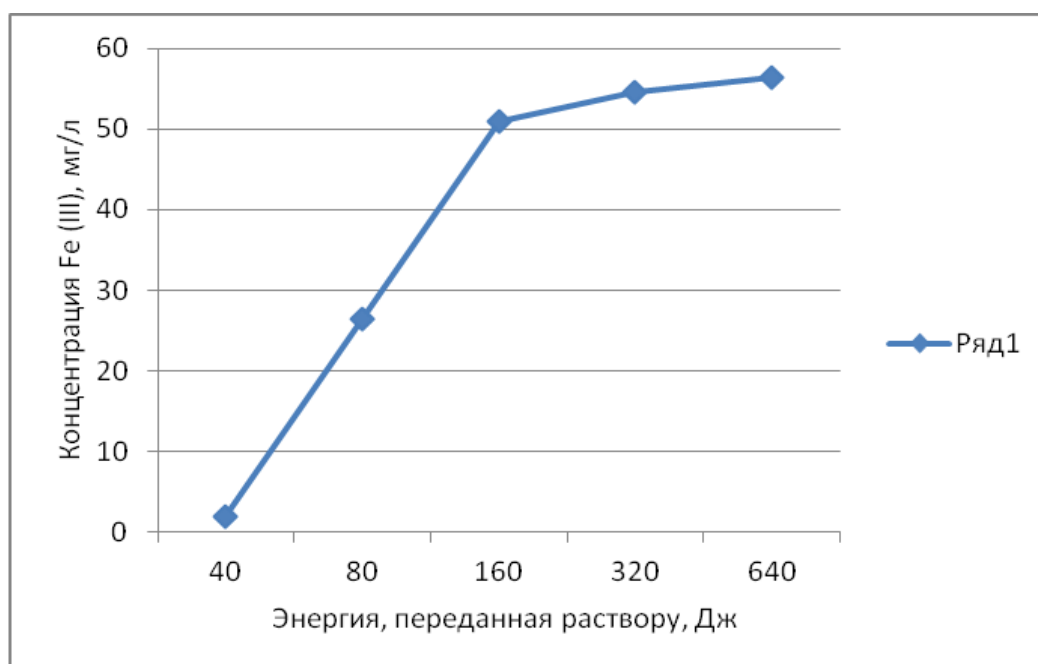


Рисунок 14 – График концентрации трехвалентного железа, в зависимости от энергии, сообщенной раствору

Таблица 11- Результаты расчета по формуле

Номер опыта	1	2	3	4	5
Число импульсов	0	5	10	20	40
Переданная энергия, Дж	0	40	80	160	320
$D(Fe^{3+})$	0,008	0,051	0,089	0,13	0,12
$C(Fe^{3+})$ , мг/л	1,99	26,36	50,92	54,60	56,00
$C(Fe^{3+})$ , нарабаталось, мг/л	0,00	24,37	48,93	52,61	54,01
Масса $Fe^{3+}$ нарабаталось, мг	0,00	0,24	0,49	0,53	0,54
Доза по формуле (91), кГр	4	8	16	32	64
Радиационно-химический выход, г/МДж	-	6,09	6,12	3,29	1,29
Доза по формуле (90), кГр	0,00	3,99	8,02	8,62	8,85

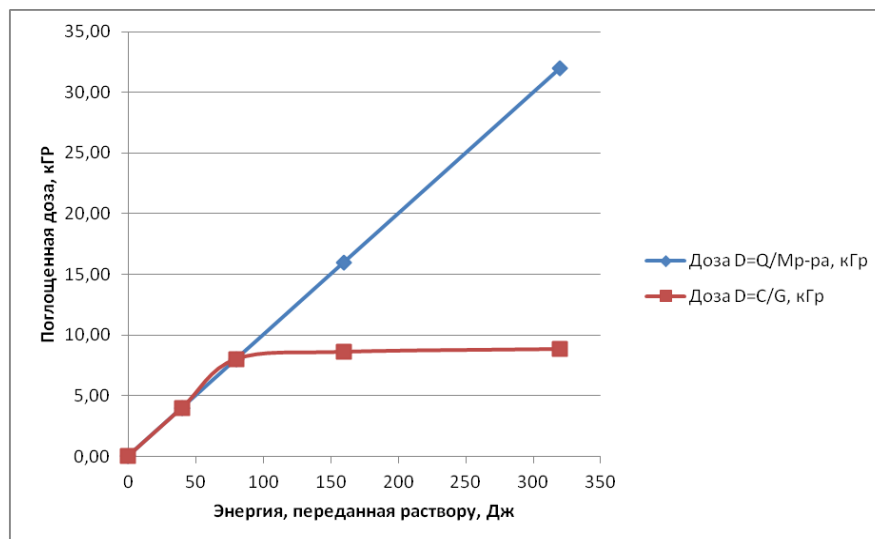


Рисунок 15 – График поглощенной дозы рассчитанной по формуле (90) и (91) в зависимости от энергии, сообщенной раствору для модифицированного дозиметра Фрикке

— Поглощенная доза, рассчитанная по формуле (90)      — Поглощенная доза, рассчитанная по формуле (91)

Используя полученное значение радиационно-химического выхода для модифицированного дозиметра Фрикке и измеренного значения энергии пучка за один импульс с помощью калориметра, были рассчитаны поглощенные дозы по формулам (90) и (91).

Результаты дозы по формуле (90), бы рассчитаны с учетом радиационно-химического выхода равной  $G=0,62$  ионов/100эВ.

При проведении эксперимента было обнаружено большое различие в полученном радиационно-химическом выходе ( $G$ ) трехвалентного железа ( $Fe^{3+}$ )  $G=1,05$  ионов/100 эВ от теоретического 0,6 ионов/ 100 эВ. Поэтому верхний предел поглощенной дозы в нашем случае составляет 9 кГр.

Из графика видно, что МДФ отлично сходиться с теоретическим, до 8 кГр (5-10 импульсов).

## 2.5 Эксперимент по облучению карбоната аммония

После введения поправочного коэффициента и очередных расчетов полученных результатов проведенного эксперимента, пришли к выводу, что изменение концентрации железа (III), возможно зависит от медного купороса, поэтому было принято решение, развести данный раствор с кислотой  $H_2SO_4$  и медным купоросом  $CuSO_4$  на 1 л, далее, отмерить 10 мл и добавить железа  $FeSO_4$  (таблица 12). Так как, на изменение концентрации железа оказывает влияние  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ .

$$m[FeSO_4 \cdot 7H_2O] = \frac{56 \text{ мг / л} \cdot 0,9 \text{ л} \cdot 278000 \text{ мг / моль}}{56000 \text{ мг / моль}} = 250,2 \text{ мг} \quad (115)$$

$$m[FeSO_4 \cdot 7H_2O] = \frac{56 \text{ мг / л} \cdot 250,2 \text{ мг}}{30} = 467,04 \text{ мг} \quad (116)$$

Таблица 12 – Описание образцов

№ образца	Описание	Количество реагентов
1	$H_2O_{\text{дист}} + FeSO_4 + 0,01M H_2SO_4 + 0,1M CuSO_4$	900 мл + 467,04 мг + 0,54 мл + 25 мг

Анализируемый образец отмеряем объемом 0,5 мл, т.к. концентрация Fe в растворе слишком велика, и наводим раствор по методике сульфосалициловой кислоты с солями железа в кислой среде с образованием красного комплекса, как было уже сказано выше. Результаты определения оптической плотности МДФ представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты оптической плотности

№ образца	Концентрация Fe (III), мг/л	Среднее значение концентрации
1	2,27	$CuSO_4$
1'	2,27	Исходный
2	5,67	5,67
2'	5,67	
3	31,74	31,70
3'	31,74	
4	52,78	53,00
4'	53,22	
5	55,82	56,00
5'	56,18	
6	55,64	57,00
6'	58,36	



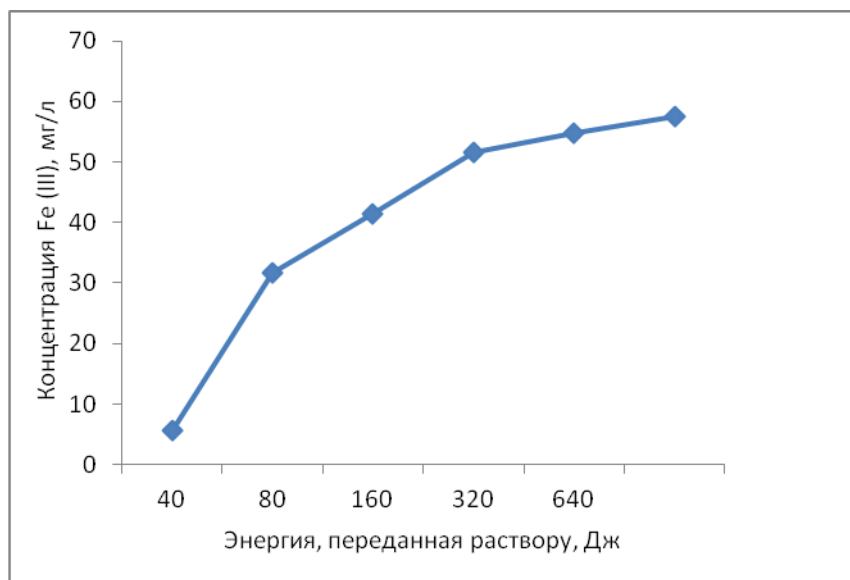


Рисунок 16 – График концентрации  $\text{Fe}^{3+}$  в зависимости от энергии, сообщенной раствору

После определения оптической плотности, были произведены расчеты по определению поглощенной дозы энергии облучаемым раствором по формуле (90) и (91), полученные результаты приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет результатов по формуле

Номер опыта	1	2	3	4	5
Число импульсов	0	5	10	15	20
Переданная энергия, Дж	0	40	80	120	160
$D(\text{Fe}^{3+})$	0,008	0,051	0,089	0,13	0,12
$C(\text{Fe}^{3+})$ , мг/л	5,70	31,70	53,00	56,00	57,00
$C(\text{Fe}^{3+})$ , нарабаталось, мг/л	0,00	26,00	47,30	50,30	51,30
Масса $\text{Fe}^{3+}$ нарабаталось, мг	0,00	0,26	0,47	0,50	0,51
Доза по формуле (91), кГр	4	8	16	32	64
Радиационно-химический выход, г/МДж	-	6,50	5,91	4,19	3,21
Доза по формуле (90), кГр	0,00	4,19	7,62	8,10	8,27

По полученным результатам, как видно из таблицы, рассчитанный по результатам эксперимента радиационно-химический выход  $G(\text{Fe}^{3+})$  для модифицированного дозиметра Фрикке составил 1,07 ионов/100эВ. По литературным данным при мощности поглощенной дозы  $10^{10}$  Гр/с. радиационно-химический выход  $G(\text{Fe}^{3+})$  для модифицированного дозиметра Фрикке составляет 0,62 ионов/100эВ[2,36,39]. То есть, измеренное значение радиационно-

химического выхода в два раза выше теоретического, как было указано выше. Это изменение возможно связано с ошибочным измерением на колориметре.

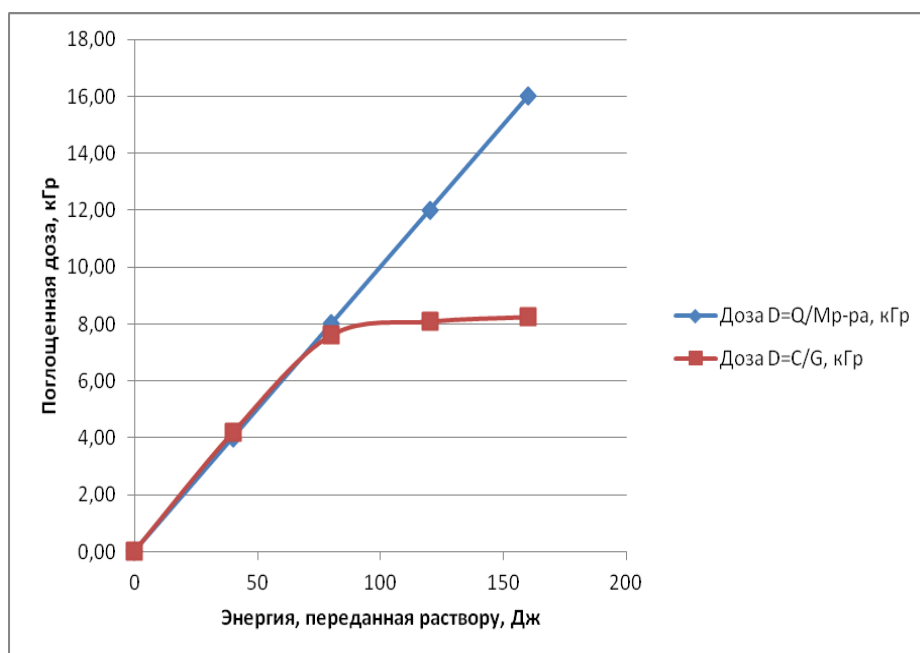


Рисунок 17 – График поглощенной дозы рассчитанной по формуле (90) и (91) в зависимости от энергии, сообщенной раствору для модифицированного дозиметра Фрикке

— Поглощенная доза рассчитанная по формуле (90)      — Поглощенная доза рассчитанная по формуле (91)

Из полученных результатов проведенного эксперимента можно сделать вывод, что модифицированный дозиметр Фрикке подходит для такой мощности дозы и значений поглощенной дозы энергии.

### 2.5.1 Эксперимент по карбонату аммония

Среди различных видов загрязнений окружающей среды химическое загрязнение природных вод имеет особое значение. Оно приводит к изменению естественных свойств воды за счет увеличения содержания в ней вредных примесей как неорганической (минеральные соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы), так и органической (нефть и нефтепродукты, органические остатки, поверхностно-активные вещества, пестициды) природы. Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются разнообразные

химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. К этим соединениям относятся аммиак, мышьяк, свинец, кадмий, ртуть, хром, медь, фтор, фосфор, а также цианиды и другие соединения. Всякий водоем или водный источник связан с окружающей его внешней средой. На него оказывают влияние условия формирования поверхностного или подземного водного стока, разнообразные природные явления, индустрия, промышленное и коммунальное строительство, транспорт, хозяйственная и бытовая деятельность человека. Загрязнения, поступающие в водную среду, классифицируют по-разному, в зависимости от подходов, критериев и задач. Большинство из них попадает в воду в результате человеческой деятельности, поэтому главными источниками загрязнения поверхностных вод являются бытовые и производственные сточные воды [65]. Последствием этих влияний является привнесение в водную среду новых, не свойственных ей веществ – загрязнителей, ухудшающих качество воды. Вредные вещества, сбрасываемые со сточными водами в открытые водоемы, нарушают естественное биологическое равновесие и тормозят процессы самоочищения. Промышленные сточные воды очищать ещё труднее, т.к. они содержат огромное количество примесей, подавляющих рост бактерий. А ведь именно бактерии осуществляют процесс биологического распада в естественных условиях. В настоящее время очень актуальной проблемой является предотвращение антропогенного эвтрофирования водоемов, обусловленного, в первую очередь, поступлением в них биогенных элементов, тяжелых металлов и их соединений, в том числе азота и меди.

Присутствие аммиака в речной воде оказывает сильное токсичное влияние на рыб, наличие нитритов и нитратов в питьевой воде вызывает тяжелые заболевания, особенно у детей и лиц пожилого возраста. Присутствие соединений азота в оборотной воде промышленных предприятий приводит к образованию биологических обрастаний технологических аппаратов, теплообменников и коммуникаций, осложняет эксплуатацию оборудования.

Органические и минеральные соединения азота присутствуют в сточных водах многих отраслей промышленности: химической, медицинской, пищевой, агропромышленного комплекса и пр., а также в хозяйственно-бытовых сточных

водах. Как правило, эти стоки очищаются от органических веществ биологическими методами, в то время как соединения азота практически остаются в очищенной жидкости в неизменном состоянии. Доочистка биологически очищенных сточных вод от соединений азота требуется в настоящее время органами здравоохранения и комитетами природных ресурсов практически повсеместно, а для этого необходимы дополнительные значительные капитальные вложения, что обуславливает остроту проблемы и актуальность ее решения.

Аммиак  $\text{NH}_3$  – бесцветный газ с удушливым резким запахом, используется в органическом синтезе, в холодильной технике, в производстве удобрений. Аммиак хорошо растворяется в воде; насыщенный раствор содержит 33 % аммиака. В медицине применяется 10%-й водный раствор аммиака (нашатырный спирт). Сильнее всего аммиак действует на слизистые: вдыхание его концентрированных паров вызывает удушье, кашель, жгучую боль в дыхательных путях и горле, сильное раздражение и отёк слизистых оболочек трахеи и гортани с образованием экссудата, спазм голосовой щели; отравление раствором аммиака при приёме его внутрь характеризуется, кроме поражения полости рта, входа в гортань и глотки, химическими ожогами пищевода и ЖКТ, что сопровождается поносом и рвотой, иногда кровавой. Аммиак является конечным продуктом азотистого обмена в организме человека и животных. Он образуется при метаболизме белков, аминокислот и других азотистых соединений. Он высоко токсичен для организма, поэтому большая часть аммиака конвертируется печенью в более безвредное и менее токсичное соединение – карбамид (мочевину). Мочевина затем выводится почками, причём часть мочевины может быть конвертирована печенью или почками обратно в аммиак. Смертельная доза водных растворов аммиака при приёме внутрь 25–50 мл для 10%-го раствора и 10–15 мл для 25%-го раствора. ПДК аммиака в воздухе производственных помещений 0,02 мг/л. В природных незагрязнённых водах  $\text{NH}_3$  содержится в концентрациях до 0,2 мг/л. В местах, где аммиак применяется как удобрение или сбрасывается в водоёмы со сточными водами, концентрация его бывает значительно выше и достигает 13 мг/л. В общих стоках промышлен-

ных предприятий он содержится, как правило, в концентрациях менее 1 мг/л, в бытовых стоках – в концентрациях от 1,9 до 7,1 мг/л.

Даже небольшие концентрации аммиака в воде могут помешать ее использованию. В ряде случаев для технологических процессов с использованием воды и/или водопроводных систем нежелательно присутствие аммиака, поэтому необходимо удалять даже субмиллиграммовые концентрации [66]. Предельно допустимая концентрация азота в виде  $NH_4^+$  в воде хозяйственно–питьевого и культурно–бытового водоснабжения равна 1 мг/л [67], в сточной воде промышленных предприятий для разных регионов России находится в пределах от 0,39 до 30 мг/л [68].

Главными источниками загрязнения поверхностных вод являются производственные сточные воды. Вредные вещества, сбрасываемые со сточными водами в открытые водоемы, нарушают естественное биологическое равновесие и тормозят процессы самоочищения. Присутствие соединений азота в оборотной воде промышленных предприятий приводит к образованию биологических образований технологических аппаратов, теплообменников и коммуникаций, осложняет эксплуатацию оборудования [69, 70, 71–73]. Помимо промышленных производств (удобрений, мочевины, азотной кислоты)  $NH_3$  образуется при сжигании нечистот, в стоках машиностроительных и приборостроительных заводов, кожевенных, сахарных и животноводческих комплексов [74, 75]. В сточных водах азот присутствует в основном в виде аммонийных солей, нитритов и нитратов. Концентрация азотсодержащих веществ составляет 45–50 мг/л. Очистка сточных вод на станциях аэрации позволяет значительно снизить содержание общего и аммонийного азота, однако даже после полной биологической очистки в сточной воде остается до 20–25 мг/л общего и 15–20 мг/л аммонийного азота. Для предотвращения загрязнения водоемов следует производить доочистку сточных вод от соединений азота. Необходимость удаления этих соединений вызвана также тем, что азот, являясь биогенным элементом, вызывает зарастание водоемов водорослями. В результате сезонного развития водорослей, их отмирания и минерализации происходит обогащение воды органическими продуктами распада, что вызывает вто-

ричное загрязнение воды и снижение количества растворенного кислорода. Все это значительно ухудшает санитарное состояние водоемов.

Ионы аммония в сточной воде находятся в равновесном состоянии с аммиаком:



При  $pH > 7$  равновесие сдвигается вправо, при этом образуется гидро- окись аммония, которая разлагается на аммиак и воду:



Наибольшее количество растворенного в воде аммиака извлекается при  $pH=10-11,5$ . При пропускании воздуха через раствор гидроокиси аммония  $NH_3$  удаляется вместе с воздухом. Эффективность удаления  $NH_3$  зависит от температуры воды. Растворимость аммиака увеличивается с понижением температуры, поэтому зимой эффективность его удаления составляет 30–50 %, а летом повышается до 98 %. Для отдувки аммиака воздухом необходимо сточную воду обрабатывать известью или любой другой щелочью. Обработанная таким образом вода подается в сооружения типа градирен, которые могут быть заполнены насадками для увеличения площади аэрируемой поверхности контакта.

В настоящее время из всех существующих методов обеззараживания сточных вод лучшим признан радиационный метод, а именно обработка электронным пучком. В сравнении с другими видами источников ионизирующих излучений, импульсный электронный ускоритель более дешевый, не требует утилизации вредных отходов, имеет хорошую управляемость, низкую радиационную опасность, а также возможность «выключить» в любой момент. Преимуществом применения электронного пучка для решения этой задачи является высокий КПД преобразования электрической энергии в энергию пучка, при этом электронный пучок производит действие, как на микроорганизмы, так и на химические загрязнения. Еще одно преимущество данного метода заключается в сообщении объему водного раствора порции энергии (поглощённой дозы) в виде ионизирующих излучений. Данный способ является фактически безреагентным – не вносит измене-

ний в химический состав вод, и гораздо менее энергозатратен в сравнении с термическими способами обеззараживания – нагрев воды происходит на несколько градусов.

В данном эксперименте определяли поглощенную дозу за 1 импульс. Полученные значения концентрации аммония в растворе и оптической плотности представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты расчета обработки карбоната аммония

№	D	C, моль/л	Среднее значение C
0	0,118		
1	0,332	61,14	61,6
	0,335	62	
2	0,370	72	71,3
	0,365	70,6	
3	0,389	77,43	79,1
	0,401	80,86	
4	0,320	58,86	59,3
	0,323	59,7	
5	0,321	59,143	60,7
	0,332	62,3	
6	0,357	69,43	69,2
	0,355	68,86	

7	0,325	60,3	58,9
	0,315	57,43	
8	0,332	62,3	61,2
	0,324	60	
9	0,340	65,143	66,4
	0,349	67,7	
10	0,321	59,7	60,2
	0,324	60,6	
11	0,296	52,6	52,6
	0,296	52,6	
12	0,314	57,7	58
	0,316	58,3	

По полученным значениям эксперимента был построен график концентрации 10 мг/л в зависимости от поглощенной дозы равной 4 кГр за 1 импульс разные рН значения. График представлен на рисунке 18.

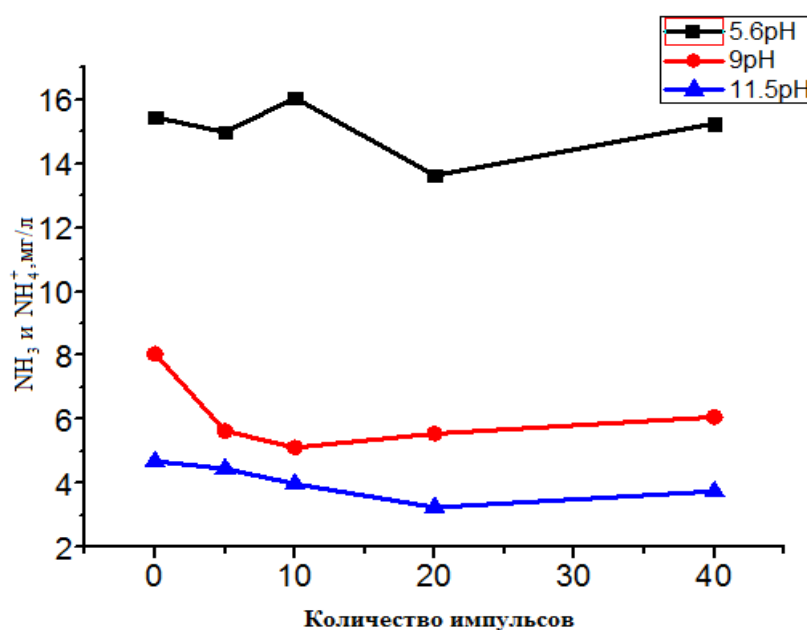


Рисунок 18 - График концентраций карбоната аммония в зависимости от поглощенной дозы при стационарном режиме обработки.

Таблица 15 – Результаты рН

№	рН		
	5,6	9	11
1	79,1	79,1	79,1
2	76,1	67,3	69,2
3	75,6	67,9	66,4
4	77,3	58,3	58



## **Глава 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данной научно-исследовательской магистерской диссертации является оптимизация поглощенной дозы энергии при обработке модифицированного дозиметра Фрикке импульсным электронным пучком. Полученные результаты позволят более точно провести обработку различных водных растворов.

### **4.1 Диаграмма Исикава**

Причинно-следственная диаграмма (Диаграмма Исикава) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Результаты причинно-следственной диаграммы определения концентрации трехвалентного железа представлены на рисунке 1.

В данной диаграмме описана методика по определению концентрации трехвалентного железа с сульфосалициловой кислотой.

### **4.2 SWOT-анализ**

**SWOT-анализ** – метод стратегического планирования, используемый для оценки факторов и явлений, влияющих на проект или предприятие. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы). Все факторы делятся на четыре категории. Поскольку SWOT анализ в общем виде не содержит экономических категорий, его можно применять к любым организациям, отдельным людям и странам для построения стратегий в самых различных областях деятельности.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

К сильным сторонам можно отнести в первую очередь экономичность и энергоэффективность и функциональную мощность данного метода. Процесс, который используется в данной технологии, не включает химического дополнения, показывает низкую энергоемкость и управляется во внешних условиях, этот факт должен быть особенно привлекательным в любой перспективе.

К слабым сторонам можно отнести в первую очередь сложности с дозированием активных частиц, т.к. в конце процесса желательно уменьшить поступление активных радикалов. Также, есть вероятность взаимодействия активных частиц между собой с образованием побочных продуктов - что сказывается на производительности технологии. Чтобы устранить такого рода недостатки, во время процесса регулируется температура и частота подаваемого импульса. Также значение частоты импульса подбирают таким образом, чтобы образовали определенного рода активные частицы, которые не будут вступать в реакцию друг с другом.

Возможности: Разработка комплекса, состоящего из установки и программного приложения, который будет манипулировать процессом при заданных параметрах.

Угрозы: Возможны сложности с интерпретацией начальных параметров концентраций загрязняющих веществ и их природы.

А также отсутствие финансирования.

**Второй этап** состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Эти соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

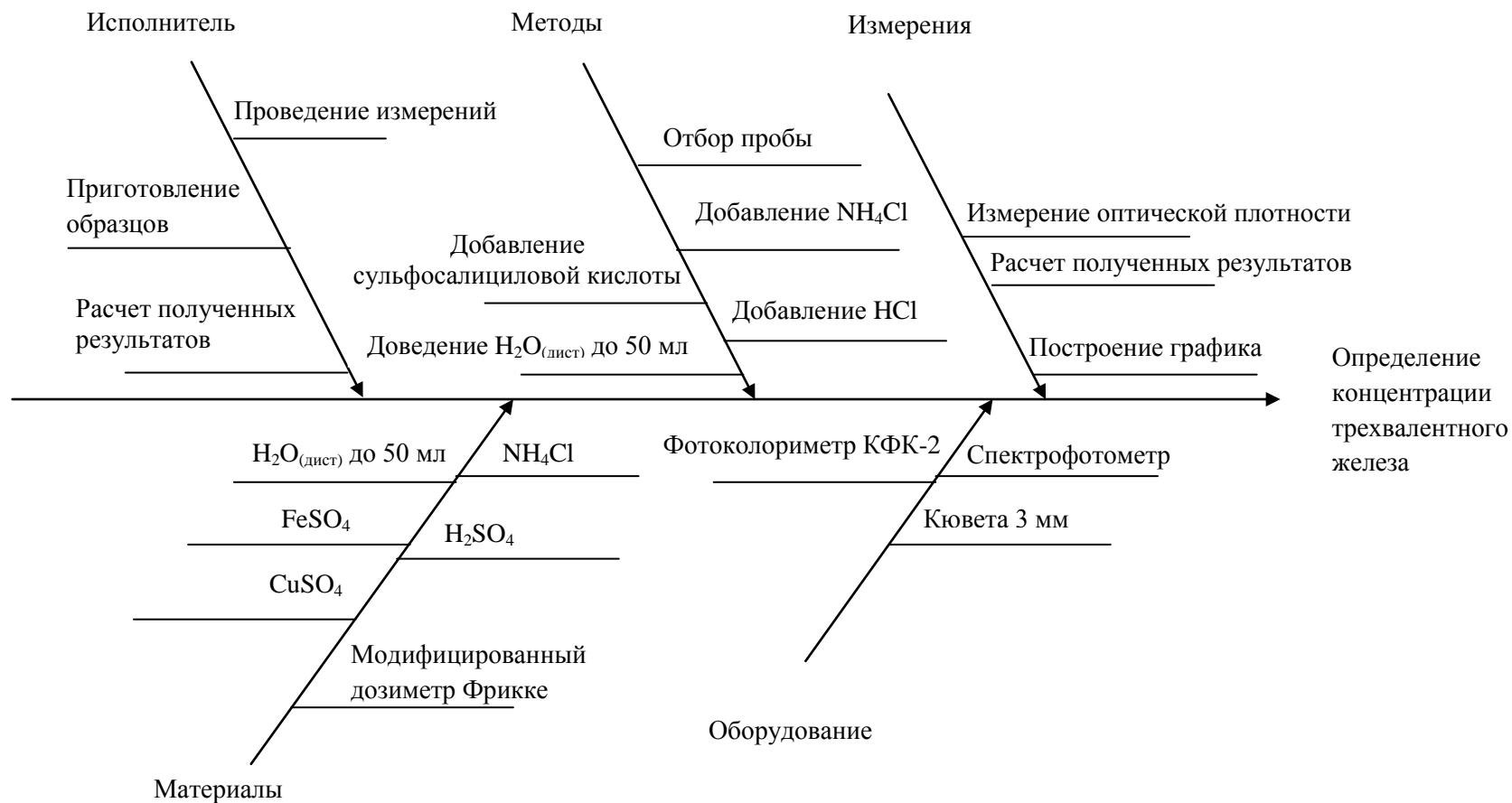


Рисунок 19 – Причинно-следственная диаграмма определения концентрации трехвалентного железа

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Полученные данные представлены в таблице 16.

Таблица 16- Интерактивная матрица

Сильные стороны проекта						Слабые стороны проекта	
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2
	B1	+	+	+	+	-	-
	B1	+	+	+	+	-	-
Угрозы	У1	+	+	+	-	+	+
	У2	-	+	-	0	0	0

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: B1B2C1C2C3C4C5; У1C1C2C3Сл1Сл2; У2C2.

В рамках **третьего этапа** строится итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 17).

Исходя из всего выше перечисленного можно сделать вывод, что снижение систематической погрешности метода определения поглощенной дозы при облучении водных растворов импульсным электронным пучком, основанной на зарождении активных частиц позволит в разы уменьшить энергозатраты на мероприятия по определению поглощенной дозы.

Таблица 17 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Функциональная мощность С2. Экономичность С3. Энергоэкономичность С4. Удобство эксплуатации	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Большой поток активных частиц Сл2. Взаимодействие частиц между собой
<b>Возможности:</b> В1. Разработка комплекса очистки воды, основанного на самостоятельном управлении процессами, происходящими в ходе окисления.	В1В2С1С2С3С4С5 При совмещении сильных сторон и возможностей повышается конкурентоспособность разработки, что позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду.	
<b>Угрозы:</b> У1. Сложность интерпретации природы загрязняющего вещества У2. Отсутствие финансирования	У1С1С2С3; У2С2 Дополнительные исследования по адаптации возможностей смоделировать всю цепочку дадут хороший старт реализации возможностей	У1Сл1Сл2; Что касается взаимодействия активных частиц между собой, то устранение идет за счет регулирования параметров, влияющих на поведение частиц

### 4.3 Инициация проекта

#### 4.3.1 Цели и результаты проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Химическая промышленность	Сочетание производительности и цены. Простота и более высокий срок эксплуатации.
Нефтеперерабатывающая промышленность	
Национальный исследовательский томский политехнический университет	Снижение систематических погрешностей метода определения поглощенной дозы при облучении раствора модифицированного дозиметра Фрикке

Далее приводится информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей (таблица 19).

Таблица 19 – Цели и результаты проекта

<b>Цели проекта:</b>	- Освоить методики измерения концентраций двухвалентного и трехвалентного железа и приготовления модифицированного дозиметра Фрикке; - Исследовать применимость модифицированного дозиметра Фрикке для импульсного электронного пучка
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Снижение систематической погрешности метода определения поглощенной дозы при облучении водных растворов импульсным электронным пучком
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Снижение значений концентрации загрязняющих веществ Уменьшение продолжительности процесса
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требования:</b>
	- Соответствие законодательству РФ в области охраны окружающей среды. - Соблюдение мер безопасности в работе с электромагнитным излучением
	Экономическая целесообразность оптимизации процесса
	Эффективность усовершенствованной технологии

#### 4.3.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы определяется, кто будет входить в рабочую группу данного проекта, и роль каждого участника в данном проекте. Также прописываются функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 20.

Таблица 20 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Колоколов Д.Ю., м.н.с., Лаборатория №1, ИФВТ, НИ ТПУ	Руководитель	Координирование деятельности	160
2	Уразбахтина Л.Р., м.н.с., Лаборатория ФТИ «Анализ воды», НИ ТПУ	Эксперт	Курирование при выполнении химического анализа	100
3	Ходжамкулова Ш.Р., магистрант каф. ИСЭ	Исполнитель	Выполнение научно-исследовательской работы	980
<b>Итого</b>				1240

### 4.3.3 Ограничения и допущения проекта

В таблице 21 приведены факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 21 – Ограничения проекта

Факторы	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	
1.1 Источник финансирования	НИ ТПУ
2. Сроки проекта	15.09.2014-05.06.2016
2.1 Дата утверждения плана управления проектом	14.04.2016
2.2 Дата завершения проекта	05.06.2016

### 4.4 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

#### 4.4.1 Иерархические структуры работ проекта

*Иерархическая структура работ (ИСР)* – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке представлена иерархическая структура работ по проекту.

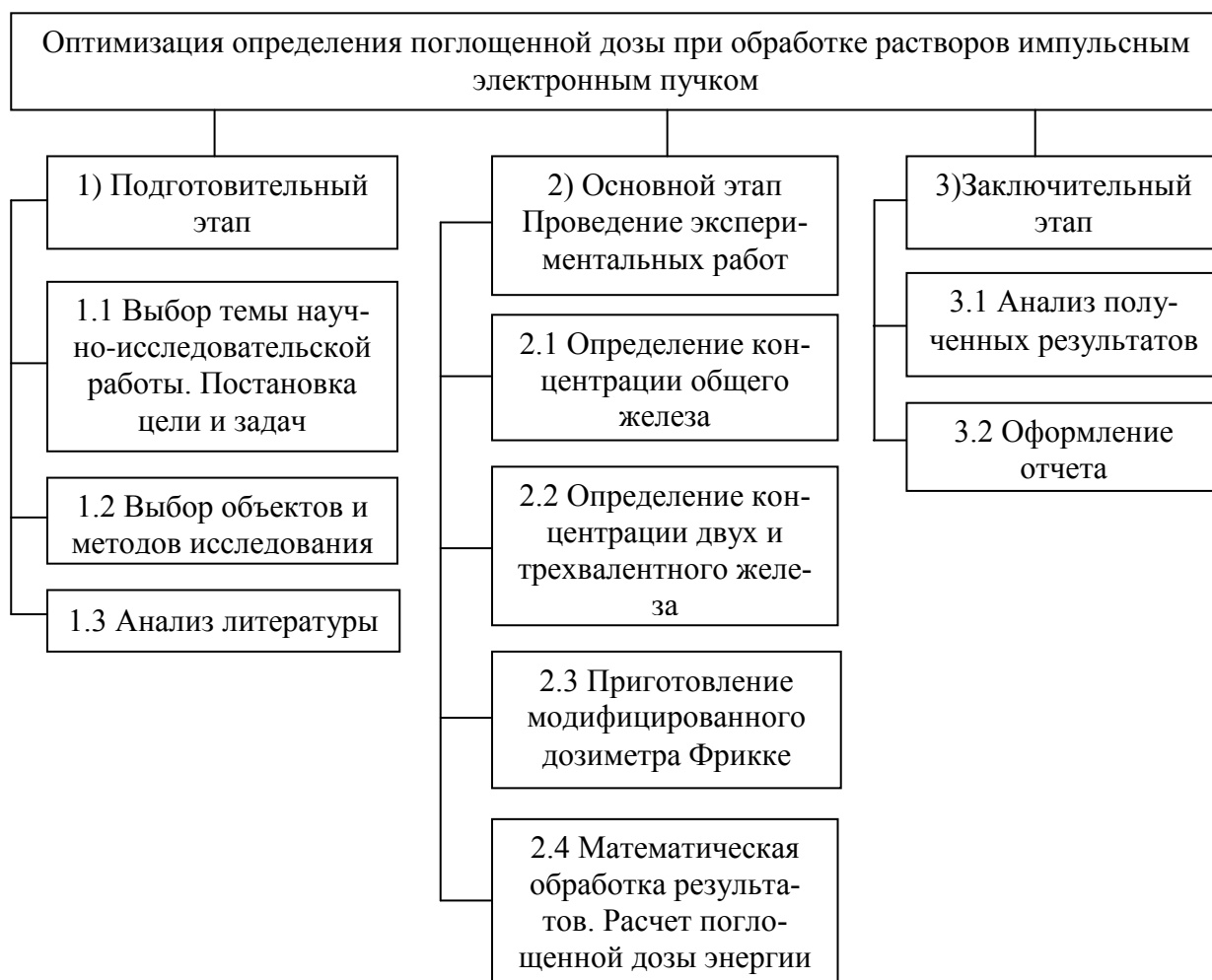


Рисунок 21 – Иерархическая структура проекта

#### 4.5 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты (таблица 22).

Таблица 22 – Контрольные события проекта

№, п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	16.09 – 19.09.14	Приказ
2	Анализ литературы	28.09 – 17.12.14	Отчет по НИР
3	Оптимизация определения поглощенной дозы при обработке растворов импульсным электронным пучком	10.02 - 10.06.15	Публикации по теме НИР
4	Анализ полученных результатов. Составление отчета	10.05 – 03.06.16	Предзащита



## 4.6 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 23.

Таблица 23 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	4	16.09.14	19.09.14	Д.Ю.Колоколов Ш.Р.Ходжамкулова
1.2	Выбор объектов и методов исследования	10	22.09.14	20.01.16	Д.Ю.Колоколов Ш.Р.Ходжамкулова
1.3	Анализ литературы	100	28.09.14	25.03.16	Ш.Р.Ходжамкулова
2.1	Определение концентрации общего железа	10	20.02.15	29.04.15	Л.Р.Уразбахтина Ш.Р.Ходжамкулова
2.2	Определение концентрации двух- и трехвалентного железа	30	15.10.15	24.12.15	Л.Р.Уразбахтина Ш.Р.Ходжамкулова
2.3	Приготовление модифицированного дозиметра Фрикке	5	04.04.16	15.04.16	Д.Ю.Колоколов Ш.Р.Ходжамкулова
2.4	Математическая обработка результатов	15	09.05.16	30.05.16	Д.Ю.Колоколов Ш.Р.Ходжамкулова
3.1	Анализ полученных результатов	15	10.05.16	03.06.16	Д.Ю.Колоколов Ш.Р.Ходжамкулова
3.2	Составление отчетов по НИР	30	10.02.16	03.06.16	Ш.Р.Ходжамкулова
Итого:		219			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График проведения работ представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Ко д ра бо ты (из И СР )	Название	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ											
			Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь		
1.1	Выбор темы научно-исследовательской работы. Постановка цели и задач.	Р												
		М												
1.2	Выбор объектов и методов исследования	Р												
		Э												
		М												
1.3	Анализ литературы	Р												
		М												
2.1	Определение концентрации общего железа	Р												
		Э												
		М												
2.2	Определение концентрации двух- и трехвалентного железа	Р												
		Э												
		М												
2.3	Приготовление модифицированного дозиметра Фрикке	Р												
		М												
2.4	Математическая обработка результатов	Р												
		Э												
		М												
3.1	Анализ полученных результатов	Р												
		М												
3.2	Составление отчетов по НИР	М												

Руководитель
  Эксперт
  Исполнитель (Магистр)

#### 4.7 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Результаты представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Химические реагенты			
Сульфат железа, (хч) (100 гр)	1 кг	230	230
Сульфат меди, (чда), (100 гр)	0,5 кг	250	125
Сульфосалициловая кислота, (100 гр)	0,2 кг	340	68
ГСО Fe <sup>3+</sup>	1 ампула	75	75
Хлорид аммония, (100 гр)	0,5 кг	167	83,50
Ацетатный буфер	1 кг	170	170
О-фенантролина	0,5 кг	1550	6750
Дистиллированная вода	50 л	400	4000
Соляная кислота	1 кг	110	110
Натрий хлористый	1 л	37	37
Кислота азотная	1 л	300	300
Кислота серная	1 л	71	71
Аммиак водный, 25%-ый раствор	1 кг	23	23
Квасцы железоаммонийные	1 кг	376	376
Лабораторная посуда			
Колба коническая	10	149	1490
Колба круглодонная	10	120	1200
Колба плоскодонная	10	212	2120
Мензурка стеклянная	2	185	370
Промывалка	5	355	1775
Бумага индикаторная	1	240	240
Бумага фильтровальная	1	270	270
Перчатки	2	50	100
Груша	2	35	70
Дозаторы автоматические 1-10 мкл	1	2940	2940
Дозаторы автоматические 10-100мкл	1	3220	3220
Дозаторы автоматические 100-1000 мкл	1	4561	4561
Пипетки стеклянные 10 мл	3	81	243
Пипетки стеклянные 25 мл	3	105	315
Пипетки стеклянные 5Мл	3	80	240
Пипетки стеклянные 2 мл	3	75	225
Пипетки стеклянные 1 мл	3	75	225
Стакан лабораторный	4	46	184
Халат лабораторный	1	550	550
Всего за материалы			32531,5
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			1626,58
Итого по статье С <sub>м</sub>			34158,08

### ***Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ***

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 26 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1	Спектрофотометр ПЭ-6100УФ	1		380000
2	Фотоколориметр КФК-2	1		77000
Итого				457000

Все оборудование для выполнения данной работы находилось в лаборатории.

Амортизационные отчисления. Величина амортизационных отчислений определяется исходя из первоначальной стоимости оборудования и установленных предельных норм амортизации, указанных в документе «Единые нормы амортизационных отчислений».

Таблица 27 – Амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	Н <sub>а</sub> , норма амортизации	Амортизационные отчисления, руб.
1.	Спектрофотометр ПЭ-6100УФ	380000	5лет/800дней	30 дней	20%	6333,33
2.	Фотоколориметр КФК-2	77000	5лет/1800дней	6мес./180дней	20%	2566,67
3.		ИТОГО				8900

$$H_a = 1/T \times 100\% \quad (117)$$

где Т – срок полезного использования;

$H_A$  – норма амортизации, %

$H_A = 1/4,9 \cdot 100\% = 20,41\%$  - норма амортизации сроком полезного использования на 5 лет;

$$A = C_{of} / T / t \quad (118)$$

$$A = 380000 / 5 / 12 = 6333,3 \text{ руб.}$$

$$A = 77000 / 5 / 6 = 1283,33 \text{ руб.}$$

### **Основная заработная плата**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{осн} = Z_{осн} \cdot Z_{доп} \quad (119)$$

где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера)) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (120)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дни.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (121)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (122)$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

$Z_b = 25286,24$  руб. – базовый оклад руководителя,

$Z_b = 6976$  руб. – базовый оклад магистранта,

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_m = 25286,24 \cdot 1,3 = 32872,112 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад эксперта лаборатории:

$$Z_m = 14874,45 \cdot 1,3 = 19336,785 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад магистранта:

$$Z_m = 6976 \cdot 1,3 = 9068,8 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{дн} = 32872,112 / 22 = 1494,187 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата эксперта лаборатории:

$$Z_{дн} = 19336,785 / 22 = 878,945 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата магистранта:

$$Z_{дн} = 9068,8 / 22 = 412,2 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы работников приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р.</sub> раб.дни	З <sub>осн.</sub> , руб.
Руководитель	25286,24	1,3	32872,11	1494,19	156	233093,17
Исполнитель	6976	1,3	9068,8	412,2	182	41297,62
Эксперт	14874,45	1,3	19336,785	878,945	164	144146,98

### ***Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала***

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (123)$$

где  $З_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 29 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 29 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант	Эксперт лаборатории
Основная зарплата	233093,17	41297,62	144146,98
Дополнительная зарплата	23309,317	4129,762	14414,698
Зарплата исполнителя	256402,487	45427,382	158561,678
Итого по статье С <sub>зп</sub>	460391,547		

### ***Отчисления на социальные нужды***

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Суммарный процент общих страховых взносов равен 27.2%.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (124)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * C_{\text{зн}} = 0,272 * 460391,547 = 124305,71769 \text{ руб.}$$

### **Накладные расходы**

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (125)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,8 * 460391,547 = 368313,2376 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости магистерской диссертации, которая представлена в таблице 30.

Таблица 30 – калькуляция плановой себестоимости магистерского проекта

№, п/п	Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1	Сырье, материалы, комплектующие изделия	32531,5
2	Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИОКР	460391,547
3	Отчисления на социальные нужды	124305,71769
4	Амортизация оборудования	8900
5	Прочие накладные расходы, (80%)	368313,2376
6	Итого себестоимости ВКР, руб.	994442,00229



## **Глава 4 Социальная ответственность**

### **4.1 Описание рабочего места**

К социальной ответственности относятся соблюдение трудовой дисциплины, своевременная оплата труда, обеспечение льготами работников вредных производств, предоставление отпуска и многие другие мероприятия, регулируемые законодательством.

Основным и одним из самых важных условий обеспечения социальной ответственности при осуществлении работы любого предприятия является выполнение основ безопасности. Обеспечение социальной ответственности на предприятии - это совокупность мероприятий организационного и технического характера, которые направлены на предотвращение на производстве несчастных случаев и на создание безопасных условий труда.

С целью обеспечения охраны труда на предприятиях прикладываются все усилия для того, чтобы сделать труд работающих людей безопасным, а как итог, большие средства выделяются именно для осуществления этих целей.

Со своей стороны, работник должен пройти инструктаж и подписать соответствующие документы, обязывающие его соблюдать меры предосторожности и регламент технологического процесса.

Работники химической промышленности имеют дело с вредными и ядовитыми газами, жидкостями и пылящими сыпучими веществами, а также с высокими температурами и давлениями. Специальными законами и правилами по охране труда предусмотрены безопасные для трудящихся условия работы, герметичная аппаратура, вентиляция, изоляция горячих поверхностей и т. п.

В данном разделе изложены результаты анализа рабочего места лаборанта химической лаборатории – исполнителя, на предмет выявления вредных и опасных факторов, источников загрязнения окружающей среды и возникновения чрезвычайных ситуаций. Проведена оценка степени воздействия идентифицированных вредных и опасных факторов в процессе производственной деятельности

на работника, общество и природную среду. Предложены мероприятия по снижению их воздействий и защиты от них.

В данной работе рассмотрен импульсно-частотный сильноточный электронный ускоритель «Астра – М», который является лабораторной установкой.

Рабочее место – это лаборатория с химическими реагентами и кабинет с персональными компьютерами. Рабочей зоной является помещение лаборатории, в котором находится ускоритель Астра-М, кабинет с персональными компьютерами и зона для химических анализов. Импульсный электронный ускоритель «Астра – М» включает в себя: форвакуумный безмасляный насос, вакуумный криогенный насос, вакуумный затвор, вакуумный диод, биологическая защита, стойка, источник питания, высоковольтная часть и панель управления.

## **4.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды**

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, могут быть следующие вредные факторы: а) неблагоприятные условия микроклимата; б) повышенный уровень производственного шума; в) недостаточная освещенность на рабочем месте; г) радиационное излучение; д) электромагнитное излучение.

### **4.2.1 Неблагоприятные условия микроклимата**

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой тем-

температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ( $\phi > 85\%$ ) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ( $\phi < 20\%$ ) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 31 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице.

Таблица 31 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средняя	19 – 24	15 – 75	$\leq 0.1$
Теплый	Средняя	20 – 28	15 – 75	$\leq 0.2$

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

#### 4.2.2 Повышенный уровень производственного шума

В настоящее время эксплуатация большинства технологического оборудования, энергетических установок, различных машин и механизмов и т.д. в химической промышленности неизбежно связано с возникновением шумов и вибрации различной частоты и интенсивности, оказывающих весьма неблагоприятное влияние на организм человека.

В лаборатории источником механического шума могут быть: работающий аппарат и другое технологическое оборудование. Эти виды механического шума являются непостоянными и их уровень не превышает безопасного для здоровья работающих уровня, регламентируемого ГОСТом 12.1.003-90 и СН 3223-85, который составляет 75 дБ

Шум – механические колебания в области частот 16-20000Гц воспринимаются слуховым анализатором человека в виде звука. Для характеристики интенсивности звука установлена логарифмическая шкала уровней силы звука.

Вибрация – колебания упругих тел, аппаратов, машин, площадок, наблюдения при неправильной блокировке валов машин. Интенсивность вибрации зависит от частоты и амплитуды колебания. Частота колебаний более 16-20 Гц. При повышении частоты колебаний появляется шум.

Существуют следующие меры борьбы с шумом и вибрацией. Основными из них в соответствии с [79] являются:

1. Переход на безредукторные передачи;
2. Изолирование технологических процессов и работ;
3. Разделение шумных помещений коридорами;
4. Применение средств индивидуальной защиты;
5. Покрытие стен звукоизолирующим материалом:
  - a) Максфорт;
  - b) Термозвукоизол;
  - c) Звукоизол;
  - d) Шуманет;

- е) Софтборд;
- ф) Тексаунд 70;
- г) Фонстар.

6. Устранение причин шума и вибрации или существенное их ослабление в источнике образования;

7. Профилактические мероприятия медицинского характера:

- а) использование индивидуальных средств защиты (беруши, наушники, ватные тампоны);
- б) проведение периодических медицинских осмотров с прохождением аудиометрии;
- в) соблюдение режима труда и отдыха;
- г) проведение профилактических мероприятий, направленных на восстановление здоровья, использовать специальные комплексы производственной гимнастики, витаминпрофилактику (2 раза в год комплекс витаминов В, С, никотиновая кислота), спецпитание. Целесообразно также проводить в середине или в конце рабочего дня 5-10-минутные гидропроцедуры, сочетающие ванночки при температуре воды 38°C и самомассаж верхних конечностей.

Средства индивидуальной защиты от шума и вибрации.

Непосредственно на производстве снижение уровня шума достигается путем правильной технической эксплуатации электрического и механического оборудования, своевременного и качественного проведения профилактических ремонтов, а также применением звукопоглощающих устройств (капоты, закрывающие механизмы, боксы, звукоотражающие экраны, звукопоглощающие облицовки стен и др.).

Для защиты рабочего от прямого воздействия звуковой энергии на пути распространения звуковых волн устанавливают отражающие экраны, которые весьма эффективны при защите от высокочастотных составляющих спектра шума. Звукопоглощающие облицовки из волокнистых материалов позволяют снизить уровень шума в помещениях на 8-12 дБ, причем большее снижение происходит на высоких частотах.

При передаче шума по вентиляционным каналам и другим воздуховодам рекомендуется в качестве глушителей применять облицовки из звукопоглощающих материалов или устанавливать пластинчатые глушители, в которых происходит разделение воздушных потоков.

В качестве индивидуальной защиты рабочих от шума применяют вкладыши из ваты, пропитанной воском или глицерином, или пробочки из губчатой резины, закладываемые в наружное отверстие уха, и специальные *противошумы*, плотно закрывающие ухо.

Защита от вибрации осуществляется прежде всего совершенствованием кинематики механизмов.

Для ограничения распространения вибрации по материалу жестких конструкций рекомендуется применять изолирующие упругие прокладки (резина, войлок) или пружины, на которые опирается вибрирующий механизм или его узел.

В качестве индивидуальной защиты от вибраций, передаваемых человеку через ноги, рекомендуется носить обувь на войлочной или толстой резиновой подошве. Для защиты рук рекомендуется виброгасящие перчатки.

Коллективные средства защиты.

Вентиляция, необходима для снижения загрязненности воздуха вредными парами, газами, пылью и для создания нормальных условий труда на заводе. [80]

На проектируемом производстве используются виды вентиляционных систем:

- Приточная вентиляция – подает свежий воздух в рабочее время, вентилятор установлен в приточных вентиляционных камерах, имеет калорифер для подогрева воздуха и фильтр для очистки воздуха;

- Вытяжная вентиляция – удаляет загрязненный воздух из рабочей зоны; их устанавливают по периметру здания;

- Аварийная вентиляция – удаляет загрязненный воздух из рабочей зоны, их устанавливают по периметру. Она предназначена для быстрого удаления из помещения значительного количества воздуха со значительным содержанием

вредных и опасных веществ. Весь производственный процесс ведут с включенной приточно-вытяжной вентиляцией [78].

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

### **4.2.3 Недостаточная освещенность на рабочем месте**

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

### **4.2.4 Расчет искусственного освещения**

Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются светильники типа ЛПО.

ЛПО - для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности.

Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95, выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.



При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СНиП 23-05-95 регламентируется максимальная искусственная освещенность рабочих мест.

$E_n=300$  лк – работы средней точности для общего освещения.

Получение из СНиП 23-05-95 величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли,  $K_3=2,0$ .

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. Обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослепленности и необходимой направленности света на рабочие места.
2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Для равномерного общего освещения светильники расположим параллельно стенам (для люминесцентных ламп).

В зависимости от типа светильников существует выгодное относительное расстояние между светильниками:

$$L = \lambda * h \quad (126)$$

где  $\lambda$  – критерий оптимального расположения;

$L$  – расстояние между светильниками, м;

$h$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

Расстояние от стен помещения до крайних светильников  $1/3L$ .

Изобразим в соответствие с исходными данными план помещения, укажем на нем расположение светильников и определим их число.

Всего необходимо 9 светильников ЛПО 50 4x40 (4 лампы по 40Вт каждая). Длина одного светильника 1250 мм, ширина 60 мм, высота помещения 4,5 м.

Произведем расчет осветительной установки методом коэффициента использования светового потока. Этот метод является наиболее точным и распространенным методом расчета. Применяя этот метод, можно определить световой поток ламп, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной

поверхности с учетом света, отраженного стенами и потолком или, наоборот, найти освещенность при заданном потоке.

Приняв  $h_c = 0,5$  м, получаем  $h_{\pi} = 4,5 - 0,5 = 4$  м (высота от светильника до пола).

$h_{rp} = 0,8$  м, (высота рабочей поверхности, сидя)

$h = h_{\pi} - h_{rp} = 4 - 0,8 = 3,2$  м; (расстояние от светильника до рабочей поверхности)

$\lambda = 1,3$  (для ЛПО)

$L = 1,3 \cdot 3,2 = 4,16$  м;  $L/3 = 1,38$  м.

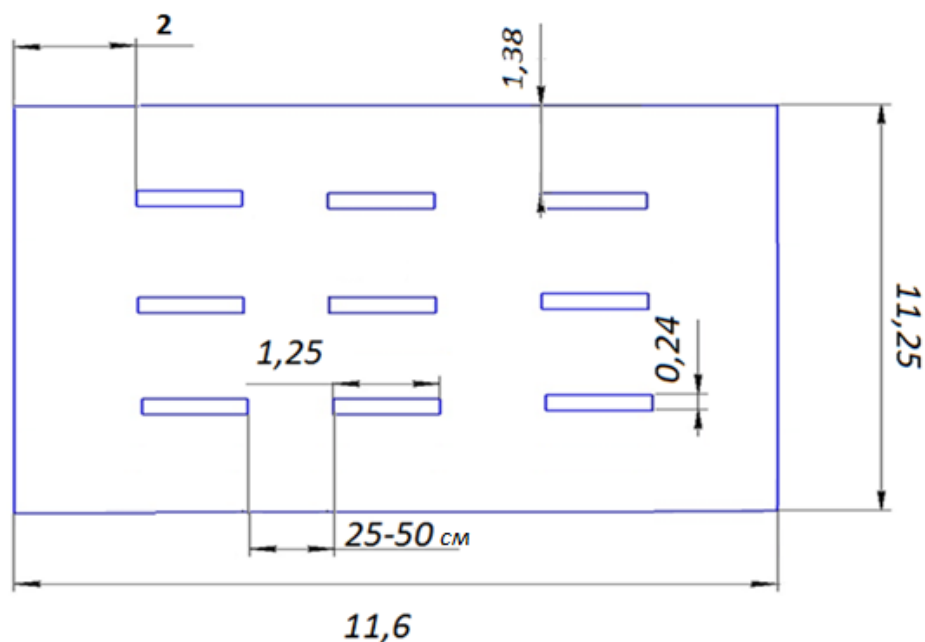


Рисунок 20 - Схема расположения светильников

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{E * z * k}{n * \eta} \quad (127)$$

Где F-световой поток лампы, лм;

E- минимальная освещенность, лк,  $E=300$ лк;[58,65]

S- площадь помещения,  $m^2$  ,  $S=130,8$   $m^2$ ;

z-поправочный коэффициент ,  $z=1,1$  для люминесцентных ламп;

k- коэффициент запаса,  $k=2,0$  для помещений с большим пылевыведением;

$\eta$ -коэффициент использования осветителей, %;

n- число ламп в помещении.

Коэффициент использования светового потока - это отношение полезного светового потока, достигающего освещенной поверхности, к полезному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента  $\eta$  необходимо знать индекс помещения  $i$ , значение коэффициентов отражения стен, тип светильника.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h * (A + B)} \quad (128)$$

где S- площадь помещения,  $m^2$

h- высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м

A,B- стороны помещения, м.

$$i = 130,8 / 3,2(11,6 + 11,25) = 1,78$$

Коэффициент отражения стен и потолка оцениваются субъективно и определяются по таблице для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными окнами без штор равно 50% и 70% соответственно.

Находим коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами:  $\eta = 54\%$ ,  $E_n = 300$  лк [58,65].

Теперь определим F по формуле (127)

$$F = 300 \cdot 130,8 \cdot 1,1 \cdot 2,0 / 36 \cdot 0,54 = 4\,440 \text{ лм}$$

По таблице [58] выбираем ближайшую стандартную лампу с потоком 5000 Лм. Тип источника света ЛБХ. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}} / \Phi_{\text{л.станд.}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем

$$-10\% \leq 12\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = n * P_0 \quad (129)$$

где n- количество осветительных элементов;

$P_0$ - мощность одного осветительного элемента.

$$P = 36 \cdot 40 = 1\,440 \text{ Вт}$$

#### 4.2.5 Радиационное излучение

При выполнении работы также нужно учитывать радиационное излучение, обусловленное возможностью облучения персонала тормозным излучением, возникающим при попадании ионного пучка на катод диода и мишень.

Радиационное излучение оказывает сильнейшее ионизирующее действие на человека. Механизм разрушительного действия гамма-квантов заключается в следующем:

- 1) Благодаря огромной проникающей способности «энергичные» гамма-кванты легко проникают в живые клетки, вызывая их повреждение и отравление.
- 2) По пути своего движения они оставляют разрушенные ими молекулы (ионы). Эти повреждённые частицы ионизируют новую порцию молекул.
- 3) Такая трансформация клеток вызывает сильнейшие изменения в её различных структурах. А изменившиеся или разрушенные составные части облучённых клеток разлагаются и начинают действовать как яды.
- 4) Заключительным этапом является рождение новых, но дефектных клеток, которые не могут выполнять необходимые функции.

Опасность гамма-излучения усугубляется отсутствием у человека механизма способного ощутить это воздействие вплоть до смертельных доз. Особая опасность гамма-излучения заключается в его способности накапливаться в организме, а также наличие скрытого периода воздействия.

Нормами радиационной безопасности СП.2.6.25.23-09 (НРБ-99/2009) устанавливаются следующие категории облучаемых лиц: [2]

персонал:

- 1) лица, работающие с техногенными источниками (группа А);
- 2) лица, по условиям работы находящиеся в сфере воздействия источников (группа Б);

население – все население, включая лиц из персонала вне сферы и условий их производственной деятельности.

Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни группы Б, не должны превышать  $\frac{1}{4}$  значение для персонала группы А.

Таблица 32 – Основные пределы доз. [2]

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	Персонал группы А	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год.	1,0 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5,0 мЗв в год.
Эквивалентная доза за год - в хрусталике глаза - в коже	150 мЗв 500 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв 50 мЗв

Предельно допустимая мощность дозы ДМДа при равномерном распределении дозы в году: ДМДа = 20 мЗв/год, или 0,4 мЗв/нед., или 11,2 мкЗв/час. Для нашей лаборатории установлена контрольная мощность дозы КМДа - 3,0 мкЗв/час, или 400 мкБэр/час. По этому, у рабочего персонала имеется своего рода дозиметры, которые каждую неделю проходят проверку.

Во избежание облучения при работе используется средство коллективной защиты: защищенное место от воздействия радиационного излучения, где рабочий персонал находится в пультовой, отделенной от установки толстой бетонной стеной и металлической дверью, не пропускающих рентгеновское тормозное излучение. Также входная металлическая дверь и стена ограничивает коридорное пространство лаборатории от облучения.

### СКЗ

– К средствам защиты от повышенного уровня ионизирующих излучений относятся:

оградительные устройства; предупредительные устройства; герметизирующие устройства; защитные покрытия; устройства улавливания и очистки воздуха и жидкостей; средства дезактивации; устройства автоматического контроля; устройства дистанционного управления; средства защиты при транспортировании и временном хранении радиоактивных веществ; знаки безопасности; емкости радиоактивных отходов.

## СИЗ

- Костюмы изолирующие:

пневмокостюмы; гидроизолирующие костюмы; скафандры.

- Средства защиты органов дыхания:

противогазы; респираторы; самоспасатели; пневмошлемы; пневмомаски; пневмокуртки.

- Средства защиты глаз:

очки защитные.

- Средства защиты лица:

щитки защитные лицевые.

- Средства дерматологические защитные:

очистители кожи; репаративные средства.

## 4.3 Электромагнитные излучения

Как и любая электроустановка, ионный ускоритель способен создавать электромагнитные поля.

Ранними клиническими проявлениями последствия воздействия электромагнитного излучения на организм человека являются функциональные нарушения со стороны нервной системы, проявляющиеся в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица, продолжительное время находившиеся в зоне электромагнитного излучения, имеют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, расстройства сна. Зачастую этим симптомам сопутствуют расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно-сосудистой системы проявляются, в большинстве случаев, нейроциркуляторной дистонией: лабильность пульса и артериального давления, склонность к гипотонии, боли в области сердца. Отмечаются также фазовые изменения состава периферической крови с последующим развитием умеренной лейкопении, нейropении, эритроцитопении. Изменения костного мозга

носят характер реактивного компенсаторного напряжения регенерации. Обычно эти изменения возникают у лиц по роду своей работы постоянно находившихся под действием электромагнитного излучения с достаточно большой интенсивностью. Работающие с магнитными и электромагнитными полями, а также население, живущее в зоне действия ЭМП жалуются на раздражительность, нетерпеливость. Через 1-3 года у некоторых появляется чувство внутренней напряженности, суеверность. Нарушаются внимание и память. Возникают жалобы на малую эффективность сна и на утомляемость. [13]

Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

Ускоритель находится в металлическом корпусе, являющимся защитным экраном от электромагнитного излучения. Так как величина электромагнитного излучения незначительна, нет необходимости в использовании дополнительных средств коллективной и индивидуальной защиты.

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ<sub>доп</sub>) при времени облучения ( $\tau$  облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см<sup>2</sup>, при  $\tau$  облуч., равном 2 ч, - 100 мкВт/см<sup>2</sup> и при  $\tau$  облуч., равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см<sup>2</sup> (при обязательном использовании защитных очков!). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см<sup>2</sup>.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

- 1) защита временем;
- 2) защита расстоянием;
- 3) снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- 4) экранирование источника;

5) защита рабочего места от излучения;

### СИЗ

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя:

1) Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

2) Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, анти-электростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

## **4.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды**

### **4.4.1 Электробезопасность**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).



В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1) Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2) Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3) Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током, т.к. установка в лаборатории работает с ускоряющим напряжением  $U$  от 450 до 470 кВ, ток пучка до 1,2 кА. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами – диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках.

*Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках.* К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления. Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

#### **4.4.2 Расчет устройства защитного заземлителя**

Цель расчета – определение основных параметров заземляющего устройства: числа, размеров и размещения электродов при которых соблюдается условие.

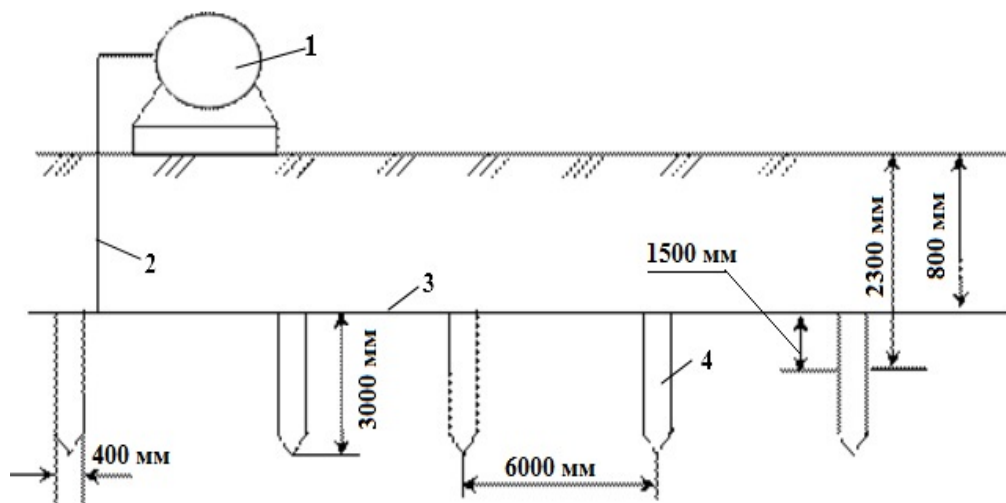


Рисунок 21 – Заземляющее устройство: где 1 – заземляемая часть (открытая проводящая часть); 2 – заземляющий проводник; 3 – соединительная полоса; 4 – заземлитель.

Принимаем  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ , поскольку суммарная мощность питающих трансформаторов более  $100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ .

В качестве естественного заземлителя может быть использован металлический трубопровод, проложенный в земле; его расчетное сопротивление (с учетом сезонных изменений)  $R_e = 15 \text{ Ом}$ .

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя определяем по формуле:

$$R_T \leq \frac{R_e * R_H}{R_e - R_H} = \frac{15 * 4}{15 - 4} = 5,45 \text{ Ом} \quad (130)$$

Искусственный заземлитель предполагается выполнить из вертикальных электродов, изготовленных из стальных водогазопроводных труб с наружным диаметром  $d=0,06 \text{ м}$ , длиной  $L=3 \text{ м}$ . Верхние концы труб соединяются между собой с помощью горизонтального электрода – стальной полосы сечением  $4 \times 40 \text{ мм}$ . Заглубление вертикального заземлителя (глубина траншеи)  $h=0,8 \text{ м}$ .

Определяем расчетное сопротивление растеканию одиночного вертикального электрода по формуле:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} * \frac{4t + L}{4t - L} \right) \quad (131)$$

где  $t$  - расстояние от середины электрода до поверхности грунта, м;

$$t=0,5 \cdot 3+0,8=2,3 \text{ м};$$

$L, d$  - длина и диаметр электрода, м;

$\rho$ - расчетное удельное сопротивление грунта, в зоне действия вертикального электрода, определяется по формуле.

Для второй климатической зоны и принятых параметров заземлителя коэффициент сезонности для вертикального электрода (приложение 4)  $\psi_B = 1,7$ , тогда

$$\rho = \rho_{изм} * \psi_1 = 100 * 1,5 = 150 \text{ Ом} * \text{м} \quad (132)$$

$$R_B = \frac{150}{2\pi * 3} * \left( \ln \frac{2 * 3}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 * 2,3 + 3}{4 * 2,3 - 3} \right) = 36,96 \text{ Ом} \quad (133)$$

Определяем ориентировочное число одиночных вертикальных электродов по формуле (5):

$$n = \frac{R_B}{R_T * \eta_B} = \frac{36,96}{5,45 * 1} = 6,8 \quad (134)$$

принимаем  $n=10$ .

Принимая  $a/l = 2$  для заземлителей, расположенных по контуру, при  $n = 10$  принимаем:  $\eta_B = 0,56$ .

По формуле (5) рассчитываем необходимое число вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_B}{R_T * \eta_B} = \frac{36,96}{5,45 * 0,56} = 12,1 \text{ шт} \quad (135)$$

По конструктивным соображениям принимаем число электродов  $n=12$  шт.

Расстояние между электродами принимаем равным  $a = L = 3 \text{ м}$ .

Определяем длину соединительной полосы:

$$L_{II} = a * n = 3 * 12 = 36 \text{ м} \quad (136)$$

По формуле рассчитываем сопротивление растеканию тока соединительной полосы (горизонтального электрода):

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho}{2\pi * L_{II}} \ln \frac{L_{II}^2}{d * h} \quad (137)$$

где  $L_{II}$  – длина полосы, м;

$t$  – расстояние от полосы до поверхности земли, м;  $h = 0,8$  м;

$d = 0,5b$  ( $b$  – ширина полосы), м;

$\rho_r$  – расчетное удельное сопротивление грунта в зоне действия полосы.

Величина  $\rho_r$  рассчитывается по формуле, аналогичной выражению (6):

$$\rho_r = \rho * \psi_r \quad (138)$$

где  $\psi_r$  – коэффициент сезонности для горизонтального электрода.

При длине полосы  $L_{\pi} = 54$  м для второй климатической зоны  $\psi_r = 2,3$ , тогда

$$\rho_r = 100 \cdot 2,3 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$R_r = \frac{230}{2\pi \cdot 36} \ln \frac{36^2}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 11,53 \text{ Ом}.$$

По приложению 5 уточняем значения коэффициентов использования вертикальных и горизонтальных электродов, при  $n = 12$  и  $a/L = 1$

$$\eta_b = 0,59; \quad \eta_r = 0,62$$

По формуле рассчитываем сопротивление искусственного заземлителя с учетом соединительной полосы:

$$R_{II} = \frac{R_b * R_r}{R_b * \eta_r + R_r * \eta_b * n} = \frac{36,96 * 11,53}{36,96 * 0,62 + 11,53 * 0,59 * 12} = 4,08 \text{ Ом} \quad (139)$$

Полученное сопротивление искусственного заземлителя меньше требуемого  $R_T$ . Расчетное сопротивление заземляющего устройства, включающего естественный и искусственный заземлители, определяется выражением:

$$R = \frac{R_e * R_{II}}{R_e + R_{II}} = \frac{15 * 4,08}{15 + 4,08} = 3,21 \text{ Ом} \quad (140)$$

Из полученного результата видно, что условие (1) соблюдается, следовательно, расчет заземляющего устройства выполнен верно. Сопротивление магистральных и заземляющих проводников, находящихся вне земли, при расчетах обычно не учитывается.

#### **4.5 Правила пожарной безопасности в лаборатории**

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 [83] и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83 [84]. При проведении работ в лабораториях следует соблюдать пожаро- и взрывобезопасность в соответствии с: ГОСТ 12.1.004; ГОСТ 12.1.010; «Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ-01-93)», утвержденными Приказом МВД России от 14.12.1993 N 536.

В соответствии с требованиями Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [85], лаборатория по степени пожаро-взрывоопасности относится к категории «В», по степени огнестойкости – 2 класс.

Возможные источники воспламенения: короткое замыкание в сети электрического тока и электрооборудования; нагревательные приборы (электрическая плитка). Для предотвращения возгорания проводится тщательная изоляция электропроводки и токоведущих частей оборудования, а также заземление оборудования и термоизоляция нагревательных приборов.

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами - дополнительные средства пожаротушения. В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара [83].

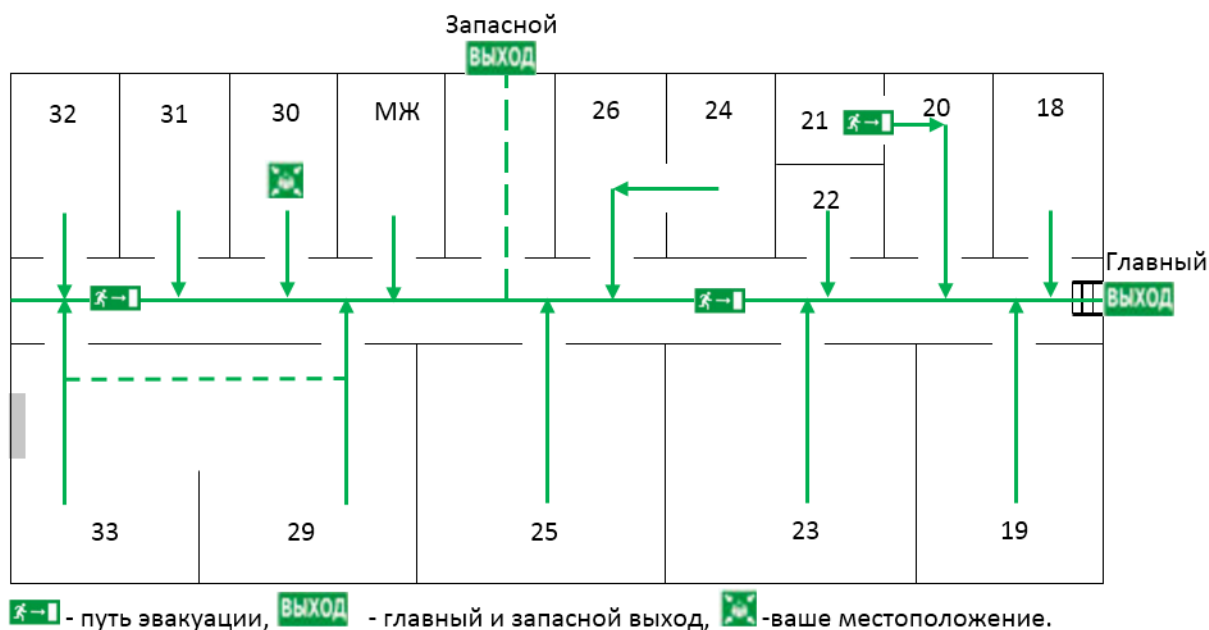


Рисунок 22- План эвакуации при пожаре и других ЧС

При работе с взрывоопасными легковоспламеняющимися и горючими веществами необходимо: перегонять и нагревать огнеопасные низкокипящие вещества (ацетон, бензол, эфиры, спирты) в круглодонных колбах, изготовленных из тугоплавкого стекла на банях, заполненных теплоносителем (водой, маслом, песком) в зависимости от температуры кипения вещества; иметь под рукой одеяло или плотную ткань для быстрого тушения огня в случае пожара [86].

#### 4.6 Экологическая безопасность

В качестве объектов исследования были выбраны следующие загрязняющие вещества: сульфат меди, серная кислота, сульфасалициловая кислота, аммоний хлорид. В ходе проведения экспериментальной части научно-исследовательской работы были выявлены следующие вредные воздействия на окружающую среду:

##### Отходы

При проведении химического анализа скважинной воды для определения концентрации трехвалентного железа были приготовлены модельные растворы серной (2 - й класс опасности по ГОСТ 4204-77), [88] и сульфосалициловой кислоты (3-й класс опасности по [ГОСТ 12.1.007](#)). [87].

Люминесцентные лампы использовались для искусственного общего освещения аудитории. Отработанные ртутные лампы отнесены к I-му классу опасности для окружающей среды и подлежат обязательному обезвреживанию. Несмотря на то, что в ходе исследования был использован ряд загрязняющих веществ, осуществлялись мероприятия по их обезвреживанию и утилизации. В связи с этим, не возникает негативное воздействие на окружающую среду.

Перечень рекомендуемых мероприятий по сокращению негативного воздействия на окружающую среду

По причине того, что мероприятия по утилизации отходов уже были введены и успешно использованы – мне остается лишь перечислить реализованные мероприятия.

#### 1. Объекты исследования

Как было сказано в предыдущем параграфе, в качестве объектов исследования были использованы токсические органические вещества, по окончании химического анализа нами была определена остаточная концентрация загрязняющих веществ. Значения концентрации были ниже предельно допустимых норм – в первую очередь, это говорит об отсутствии негативного воздействия на окружающую среду. Во-вторых, такого рода мероприятие характеризует эффективность используемого нами метода.

#### 2. Утилизация люминесцентных ламп

Лампы по окончании срока службы хранятся в контейнерах, далее транспортируются и сдаются в специальные предприятия, где они подлежат дальнейшей утилизации, суть которой состоит в сборе и нейтрализации веществ, содержащих ртуть.

#### 3. Утилизация бумаги

Использованную бумагу собирают и сдают в соответствующие инстанции, где они подлежат утилизации. Утилизация макулатуры проходит в нескольких этапах: сбор макулатуры, сортировка, получение макулатурной массы, удаление примесей/тонкая очистка, обесцвечивание и т.д..



#### **4.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (техногенного, природного, социального характера)**

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае разморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Перед наступлением отопительного сезона должна проводиться «подготовка к зиме», проверка всех систем теплообеспечения в лаборатории, проверка работоспособности резервных электрообогревателей. Так же должны быть предусмотрены аварийные дизель-генераторы для обеспечения аварийного бесперебойного электроснабжения.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

В случае ЧС необходимо предоставить транспорт для эвакуации персонала.

## Заключение

В ходе выполнения научно-исследовательской магистерской диссертации было проведено экспериментальное сравнение результатов расчетного и экспериментального методов измерения поглощенной дозы водными растворами модифицированного дозиметра Фрикке, обработанными импульсным электронным пучком в стационарном режиме. Сравнение показало, что метод, реализуемый с применением модифицированного дозиметра Фрикке, позволяет снизить систематическую погрешность расчетного метода определения поглощенной дозы.

В процессе достижения поставленной цели настоящей работы были выполнены следующие задачи:

- 1) освоены методики измерения концентраций двухвалентного и трехвалентного железа и методика приготовления модифицированного дозиметра Фрикке;
- 2) исследована применимость модифицированного дозиметра Фрикке для импульсного электронного пучка, генерируемого ускорителем «Астра – М», при стационарном режиме обработки водных растворов;
- 3) Исследование применимости модифицированного дозиметра Фрикке. Оценка и анализ полученных результатов эксперимента, и получение математической модели, графически отражающую зависимость концентрации от поглощенной дозы при облучении модифицированного раствора.

В ходе выполнения исследования было выявлено, что при подаче электронных пучков рассеивание и потери в воздухе можно пренебречь, т.к. они являются слишком маленькими

Так же, при выполнении расчетов в экспериментальной части определения поглощенной дозы было достигнуто концентрации близко к теоретическому значению. При выполнении данного исследования было экспериментально найдено радиационно-химический выход равный  $1,07 \text{ ионов}/100 \text{ эВ}$ .

## **Список использованных источников**

1. «Проблема пресной воды. Глобальный контекст политики России». Ежегодник, институт международных исследований, 2013, Москва, под редакцией Ректора МГИМО Торкунова А.В., выпуск 1 (3) – 9с.
2. Хуторской М. Д. Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф: учеб. пособие / М. Д. Хуторской, В. П. Зволинский, А. А. Рассказов – М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1999. – 222 с.
3. Спектор О. А. Слово о воде / О. А. Спектор – Л.: Гидрометеиздат, 1980. 152 с.
4. Капица С. П. Главная проблема человечества / С. П. Капица // Вестник РАН. – 1998. Т. 68, № 3 – С. 234–241.
5. Крушенко Г. Г. Проблема воды / Г. Г. Крушенко, Д. Р. Сабирова, С. А. Петров, Ю. А. Талдыкин // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2000. № 3. С. 2–8.
6. Хубларян М.Г. Современные водные проблемы России и пути их решения // Водные проблемы на рубеже веков. Отв.ред. Хубларян М.Г.-М.: Наука, 1999. -С. 5-10.
7. Зекцер И.С. Нет более драгоценного полезного ископаемого, чем вода // Наука в России. - 2002. - №2(128). - С. 6-11.
8. Драгинский В.Л., Алексеев А.П., Гетманцев СВ. Коагуляция в технологии очистки природных вод: Науч. изд. — М.; 2005. — 576 с.
9. Аткинс Р. Биодобавки. Природная альтернатива лекарствам. ООО «Попурри», Минск, 2004
10. Горбачев В.В., Горбачева В.Н. Витамины. Макро- и микроэлементы. Справочник. Книжный Дом Интерпрессервис, Минск, 2002.
11. Моисеева Е. Глоток воды во время зноя летнего. Газета «Минский курьер», №195(707), 25.08.05.
12. Пикаев А.К. Дозиметрия в радиационной химии.—М.: Наука, 1975. 312с.

13. А. Л. Хуснулина, Д. Ю. Колоколов, М. И. Кайканов. Исследование применения дозиметра Фрикке при измерении поглощенной дозы полученной с помощью импульсного электронного пучка [Электронный ресурс]// Сборник научных трудов II Всероссийской научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Высокие технологии в современной науке и технике», Томск. – 2013. – Т. 1. – С. 81-85.  
<http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2013/C17/V1/020.pdf>

14. Кайканов М. И. Исследование генерации импульсного электронного пучка в диоде с высоким импедансом. Дисс. к.ф.-м.н., 48 стр.

15. Генералова В.В., Гурский М.Н. Дозиметрия в радиационной технологии. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 184 с

16. Титова, Ю. Н. Радиация и человек в курсах физики профильной школы [Текст] : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Титова Юлия Николаевна ; Рос. гос. пед. ун-т. - СПб., 2008. - 17 с.

17. Бекман, И.Н. Радиоактивность и радиация [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / И.Н. Бекман. - М.: МГУ, 2006. 580 с. URL: <http://profbeckman.narod.ru/RR0.htm> (дата обращения 10.08.2012).

18. ANDREO, P., Absorbed dose beam quality factors for the dosimetry of high-energy photon beams, Phys. Med. Biol. 37 (1992) 2189–2211.

19. HOHLFELD, K., “The standard DIN 6800: Procedures for absorbed dose determination in radiology by the ionization method”, Dosimetry in Radiotherapy (Proc. Symp. Vienna, 1987), Vol. 1, IAEA, Vienna (1988) 13–22.

20. ROGERS, D.W.O., The advantages of absorbed-dose calibration factors, Med. Phys. 19 (1992) 1227–1239.

21. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Dosimetry of High-Energy Photon Beams based on Standards of Absorbed Dose to Water, Report 64, ICRU, Bethesda, MD (in press).

22. BOUTILLON, M., PERROCHE, A.M., Determination of calibration factors in terms of air kerma and absorbed dose to water in the Co-60 gamma rays, IAEA SSDL Newsl. 32 (1993) 3–13.

23. BOUTILLON, M., PERROCHE, A.M., Ionometric determination of absorbed dose to water for  $^{60}\text{Co}$  gamma rays, *Phys. Med. Biol.* 38 (1993) 439–454.
24. DOMEN, S.R., LAMPERTI, P.J., Heat-loss-compensated calorimeter: Theory, design and performance, *J. Res. Nat. Bur. Stand. A Phys. Chem.* 78A(1974)595-610.
25. PRUITT, J.S., DOMEN, S.R., LOEVINGER, R., The graphite calorimeter as a standard of absorbed dose for  $^{60}\text{Co}$  gamma radiation, *J. Res. Nat. Bur. Stand.* (1981) 495–502.
26. GUERRA, A.S., LAITANO, R.F., PIMPINELLA, M., Characteristics of the absorbed dose to water standard at ENEA, *Phys. Med. Biol.* 41 (1996) 657–674.
27. DOMEN, S.R., A sealed water calorimeter for measuring absorbed dose, *J. Res. Nat. Inst. Stand. Technol. (US)* 99 (1994) 121–141.
28. KLASSEN, N.V., ROSS, C.K., Water calorimetry: The heat effect, *J. Res. Nat. Inst. Stand. Technol. (US)* 102 (1997) 63–74.
29. SHORTT, K.R., KLASSEN, N.V., ROSS, C.K., SMITH, G.D., Ferrous sulphate dosimetry and its role in establishing an absorbed dose to water standard for the National Research Council of Canada, Workshop on Water Calorimetry, Rep. NRC-29637 (ROSS, C.K., KLASSEN, N.V., Eds), National Research Council of Canada, Ottawa, (1988) 121–126.
30. FEIST, H., Determination of the absorbed dose to water for high-energy photons and electrons by total absorption of electrons in ferrous sulfate-solution, *Phys. Med. Biol.* 27 (1982) 1435.
31. BOHM, J., HOHLFELD, K., REICH, H., “A primary standard for determination of absorbed dose in water for X rays generated at potentials of 7.5 to 30 kV”, *National and International Standardization of Radiation Dosimetry (Proc. Symp. Atlanta, 1977)*, Vol. 1, IAEA, Vienna (1978) 53–63.
32. BOUTILLON, M., COURSEY, B.M., HOHLFELD, K., OWEN, B., ROGERS, D.W.O., “Comparison of primary water absorbed dose standards”, *Measurement Assurance in Dosimetry (Proc. Symp. Vienna, 1993)*, IAEA, Vienna (1994) 95–111.

33. BOUTILLON, M., ANDREO, P., Some Thoughts on the Dissemination of ND,w Calibration Factors in  $^{60}\text{Co}$  Gamma Radiation, Rep. CCEMRI(I)/97-1, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres (1997).
34. ALLISY-ROBERTS, P.J., BURNS, D.T., Comparisons and Calibrations at the BIPM, Rep. CCRI(I)/99-1, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres (1999).
35. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. – М.: Химия, 1985. – 589 с.
36. Хенли Э., Джонсон Э. Радиационная химия. – М.: Атомиздат, 1974. – 415 с.
37. Чапель Л. В. Применение ускорителей электронов в радиационной химии. – М.: Атомиздат, 1975. – 152 с.
38. Kwa W., Kornelson R. O. Comparison of ferrous sulfate (Fricke) and ionization dosimetry for high-energy photon and electron beams // *Physics in Medicine*. – IOP Publishing, 1990. – P. 602-606.
39. Своллоу А. Радиационная химия. – М.: Атомиздат, 1976. – 278 с.
40. Fricke H., Hart E. J. Radiation dosimetry. – New York: Academic Press, 1966. – 247 с.
41. Трусова В. П., Бологова Г. С., Николаева Р. А. Дозиметрия больших доз. – Ташкент: Изд-во «Фан», 1966. – 173 с.
42. Anderson A. R. A calorimetric determination of the oxidation yield of the Fricke dosimeter at high dose rates of electrons // *Physics in Chemistry*. – 1962. – P. 180-182 с.
43. Meesat R., Houde D. Femtosecond laser pulse filamentation characterized by polymer gel dosimetry and Fricke dosimetry // *The 6th International Conference on 3D Radiation Dosimetry*. – IOP Publishing, 2010. – P. 1088-1092.
44. Voros S., Mathias A., Boillat B. Relative response of alanine doseimeters for high-energy electrons determined using a Fricke primary standard // *Physics in medicine and biology*. – IOP Publishing, 2012. – P. 1413-1432.
45. Пикаев А.К. Современная радиационная химия. Твердые полимеры. Прикладные аспекты (М.: Наука, 1987)

46. Иванова М. А., Кривоносов А.И. Фотоэлектроколориметрия. Методические указания к лабораторным работам. – М: МИИТ, 2007. – 20 с.
47. Фотоколориметр КФК-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.nv-lab.ru/catalog\\_info.php?ID=75&Full=1&Producer=1](http://www.nv-lab.ru/catalog_info.php?ID=75&Full=1&Producer=1) (дата обращения: 11.06.2013). – Загл. с экрана.
48. Икрин В.М., Кашкан Г. В. и др. Лабораторный практикум по неорганической химии. – Томск: «Изд-во ТПУ», 2003, – 138 с.
49. Химические загрязнения в биосфере и их определение: учебное пособие/Ю.Ю. Мирошниченко, Т.А. Юрмазова – Томск: Изд. Национального исследовательского Томского политехнического университета, 2010. – 86 с.
50. Методические указания к лабораторным работам и контрольные вопросы и задачи для студентов II курса агротехнического факультета специальности «Зоотехния» / В. В. Осташкова, В. П. Андреев, Я. П. Нижних – Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2007. –
51. Булатов, М.И., Калинин, И.П. Практическое руководство по фотоколориметрическим и спектрофотометрическим методам. М.: «Химия», 1968. – 378 с.
52. Кеслер, И. Методы инфракрасной спектроскопии в химическом анализе. Пер. с нем. под ред. М.М. Кусанова. М.: «Мир», 1964. – 286 с.
53. Спектрофотометр ПЭ – 6100 УФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://granat-e.ru/spectropfotometer\\_pe-6100uf.html](http://granat-e.ru/spectropfotometer_pe-6100uf.html) (дата обращения: 04.06.2016). – Загл. с экрана.
54. Спектрофотометр ПЭ – 6100 УФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tehnocom.ru/product.phtml?uid=B00120043738> (дата обращения: 04.06.2016). – Загл. с экрана.
55. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ускоритель\\_заряженных\\_частиц](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ускоритель_заряженных_частиц).
56. И. С. Егоров, Г. Е. Ремнев и др. Частотный импульсный электронный ускоритель для радиационной технологии // Тезисы докладов 8-ой Международной конференции «Ядерная и радиационная физика». – Алматы: Изд-во ИЯФ НЯЦ РК, 2011. – С. 549-555.

57. ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа [Электронный ресурс]: Единая справочная служба Консорциума «Кодекс». – Режим доступа: <http://ezproxy.ha.tpu.ru:2065/docs/> (дата обращения: 11.06.2013), публичное пользование ограничено. – Загл. с экрана.

58. Реестр ПНД Ф [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fcao.ru/metodiki-kkha/reestr-pnd-f.html> (дата обращения: 11.06.2013). – Загл. с экрана.

59. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. – М.: Химия, 2011. – 22 с.

60. Выпускная квалификационная работа. Хуснулина А. Л. Ферросульфатная дозиметрическая система для определения поглощенной дозы при воздействии импульсного электронного пучка: дис. ...бакл.: 16.05.2013. – Томск.:Изд. НИ ТПУ, 2013 – 71 с.

61. Khusnulina A. L. Researching the possibility to use Fricke dosimeter for measurement of absorbed dose generated by pulse electron beam // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1, Article number 012032. - p. 1-5

62. Хуснулина А. Л. , Кайканов М. И. , Меринова Л. Р. Исследование применимости дозиметра Фрикке при измерении поглощённой дозы, полученной с помощью импульсного электронного пучка [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т. , Томск, 15-19 Апреля 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - Т. 3 - С. 76-77.

63. Хуснулина А. Л. Дозиметрическое исследование импульсного электронного пучка с помощью дозиметра Фрикке // Студент и научно-технический прогресс: материалы 51-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 12-18 Апреля 2013.-Новосибирск: НГУ, 2013-Т. Квантовая физика-С.19



64. Хуснулина А. Л. , Колоколов Д. Ю. Исследование возможности применения простого и модифицированного дозиметров Фрикке при изменении поглощенной дозы, полученной с помощью импульсного электронного пучка [Электронный ресурс] // Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых: сборник докладов IV Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования, Томск, 24-27Апреля 2013.-Томск:ТПУ, 2013-С.173-176.
65. Волоцков Ф.П. Очистка и использование сточных вод гальванических производств. – М. : Химия,1983г. – 104 с.
66. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство/ Под ред. В. Н. Кудрявцева. – М. : Издательство Глобус, 1998. – 302 с.
67. Фриден Э. Биохимия меди Молекулы и клетки: пер. с англ.,В.4.– М.:,Мир,.1969. – 240 с.
68. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей, утверждена приказом МПР России от 17.12.2007. № 333.
69. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. – М.:Высшая школа, 199.–447 с.
70. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. – Ростов н/Д:Феникс, 200.– 576 с.
71. Pressly T. Ammonia-nitrogen remover by Breakpoint chlorination. Environ. Science and Technol. – 1972. Vol.16. № 7, p. 145–154.
72. Smith J.M., Masse A. N., Feige W. A. Nitrogen removal from municipal waste water by columnar denitrification. Environment Science and Technology, 1972, 6 № 3, p. 351-362.
73. Zink B., Schneider N. Denitrification als notwendige Forderung bei schwach belasteten Belebungsanlagen. Wasserwirtschaft. 1979. Bd 69. № 11, p. 451-461.
74. Химия промышленных сточных вод /Под ред. Рубина А.- М. : Химия, – 1983. – 360 с.

75. Сборник тезисов докладов научно-практической конференции Инновационные технологии в промышленности Уральского региона. Екатеринбург. 5–7 ноября 2008 г

### **Нормативные документы**

1. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения.
2. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
5. ГОСТ 12.1.010-76. Взрывобезопасность. Общие требования.
6. ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей.
7. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
8. ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов.
9. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих.
10. ГОСТ 12.4.021-75. Системы вентиляционные. Общие требования.
11. ГОСТ 12.4.103-83. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук.
12. ГОСТ 3885-73. Реактивы и особо чистые вещества. Правила приемки, отбор проб, фасовка, упаковка и маркировка.
13. СанПиН 2.1.3.1375-03 «Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров»
14. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
15. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
16. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

## Приложение А

### Раздел 5 Иностранный язык

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ41	Ходжамкулова Шохистахон Рустамовна		

Консультант кафедры

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Карнаухова Анна Алексеевна	к.ф.м.н.		

Консультант – лингвист кафедры: ИЯФТИ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Квашнина Ольга Сер- геевна			

## **5. Financial management, resource efficiency and resource conservation**

The aim of this research is the optimization of the absorbed dose energy in the operation based by modified dosimeter Fricke with pulsed electron beam. Obtained results allow us to estimate the different aqueous solutions.

### **5.1 Ishikawa Diagram**

The causal diagram (Diagram Ishikawa or Fishbone Diagram) is a graphical method for analysis and formation of causal links, tool for systematical identification of problem causes and subsequent graphical representation.

The results of the causal diagram for determining of the concentration of trivalent iron are presented in Figure 1.

This diagram describes a technique for determining the concentration of trivalent iron with sulfosalicylic acid.

### **5.2 SWOT analysis**

SWOT analysis is a strategic planning method used to evaluate the factors and phenomena that affect the project or enterprise. SWOT- Strengths (strong points), Weaknesses (weakpoints), Opportunities (potential) and Threats. All factors are divided into four categories. Since SWOT analysis generally does not contain economic categories, it can be applied to any organizations, individuals and countries for buildings strategies in various areas of activity.

**The first step** is to describe the strengths and weaknesses of the project, to identify opportunities and threats to the realization of the project that emerged or may appear in its external environment .

The strengths of this method are primarily attributed to economy, efficiency, and the functional power. In this technique, the process does not include chemical additions, shows the lowest energy intensity, and is controlled in external environment. This fact is particularly attractive in any aspect.

The weaknesses are primarily attributed to difficulties with dosing of active particles, because at the end of the process the flow of active radicals should be reduced. Furthermore, there is a possibility of interaction between active particles in the form of by-products, which affects the technique performance. To eliminate this draw-

back the temperature and frequency of prime pulse are regulated during the process. The frequency of pulse value is also adjusted so that the active particles form particles that will not react with each other.

Opportunities: the development of a complex consisting of a setup and software application that will manipulate the process with the specified parameters.

Threats: there are some problems with interpretation of the concentrations of initial parameters of the pollutants and identification of their nature.

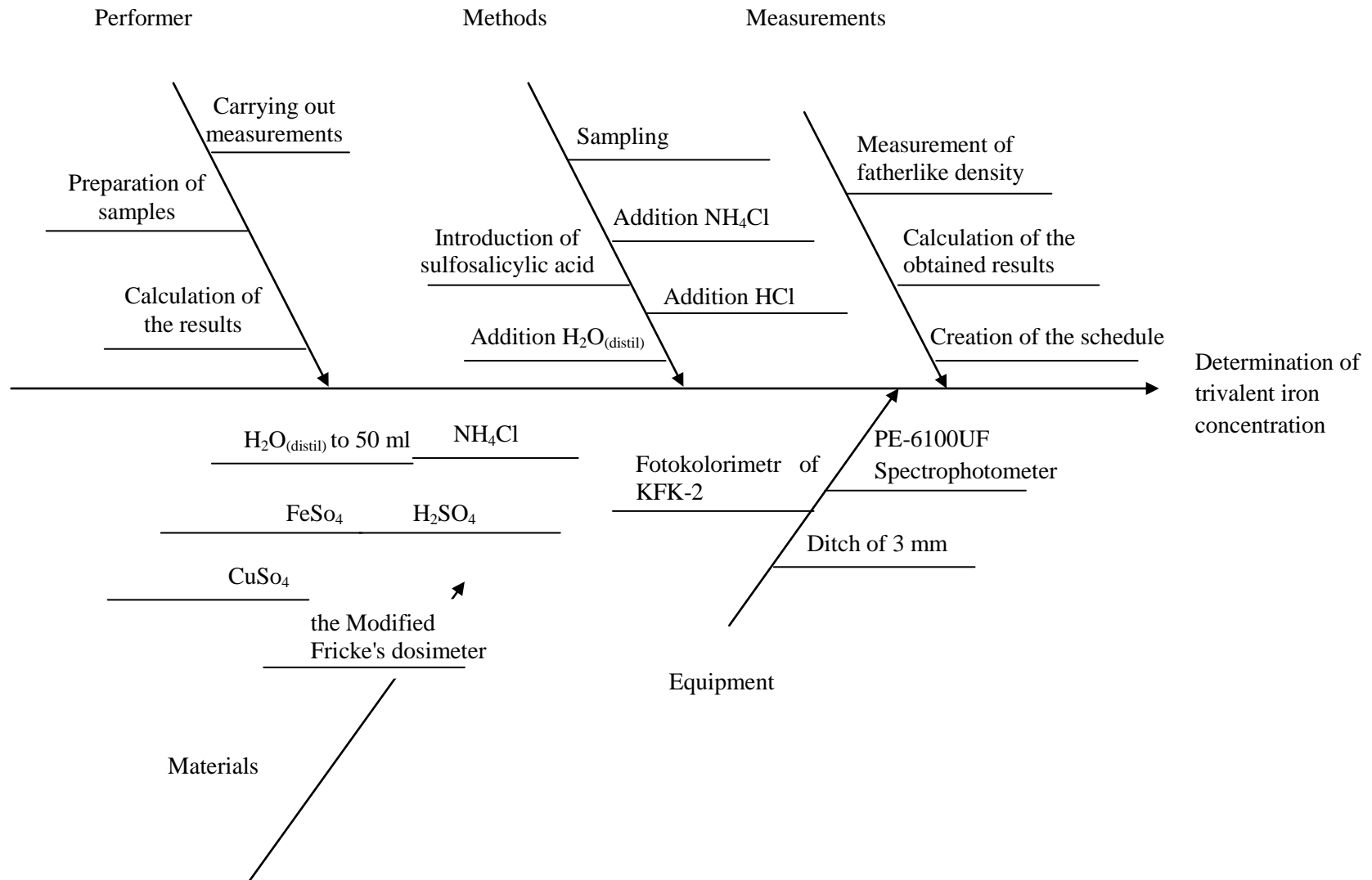


Figure 1 – Cause diagram to determine the concentration of trivalent iron



**The second step** is the detection of matches between strengths and weaknesses of the research project to external conditions of the environment. These matches or discrepancies have to help to reveal the necessity degree for introduction of strategic changes.

Within this step it is necessary to construct an interactive matrix of the project. Each factor is marked with the sign "+" (means strong compliance of strengths to opportunities), or the sign "-" (that means weak compliance); "0" – there are doubts in whether to put "+" or "-". The obtained data are given in Table 1.

Table 1-Interactive matrix

Strengths of the project						Weaknesses of the project	
Possibilities of the project		S 1	S 2	S 3	S 4	Sl 1	Sl 2
	V 1	+	+	+	+	-	-
	V 1	+	+	+	+	-	-
Threats	U 1	+	+	+	-	+	+
	U 2	-	+	-	0	0	0

The analysis of the interactive tables is represented in the form of record of strongly correlating strengths and opportunities: B1B2C1C2C3C4C5; U1s1s2s3s1s1s2; U2S2.

Within **the third step** the total matrix of SWOT analysis (Table 2) is constructed.

Proceeding from everything listed above it is possible to conclude that decrease in systematic error of a method for defining the aqueous solutions' absorbed dose of radiation given off by a pulse electron beam based on the origin of active particles will allow us to significantly reduce energy consumption by actions taken for absorbed dose determination.

Table 2 – Total matrix of SWOT

	Strengths of the research project: S1 functional power S2. Profitability S3. Power profitability S4. Convenience of operation	Weaknesses of research project: S11. Large flow of active particles S12. Interaction between particles
Opportunities: B1. Development of the complex of water purification based on independent management of the pro-	V1V2S1S2S3S4S5 Combination of the strong parties and opportunities increase competitiveness of development that al-	



cesses that occur during oxidation.	lows us to minimize the influence on environment.	
Threats: U1. Complexity of interpretation of the nature of the polluting substance U2. Financial deficiency	U1S1S2S3; U2S2 Additional research on adaptation of opportunities to simulate all ways will give a good start for realization of opportunities	U1s1s1s2; As for interaction between active particles - that elimination goes due to regulation of the parameters influencing the behavior of particles

### 5.3 Project initiation

#### 5.3.1 Purposes and results of the project

Within the initiation processes, the basic purposes and contents are defined and initial financial resources are fixed. Internal and outer interested interaction parties of the project are identified. This parties influence the general result of the scientific project.

The organization charter of the project describes the business requirements, the current understanding of needs of the project customer, as well as a new product, service or result that is planned to be developed. The interested parties of the project are presented in Table 3.

Table 3 – Interested parties of the project

Interested parties of the project	Expectations of interested parties
Chemical industry	Combination of productivity and price. Simplicity and higher term of operation.
Oil-processing industry	
National research Tomsk polytechnic university	Decrease in systematic errors of a method to define the absorbed dose of radiation of solution by modified Fricke's dosimeter

Further information on the hierarchy of the project purposes and the criteria for objectives achievement (Table 4) is provided.

Table 4 – Purposes and results of the project

<b>The objectives of the project:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- To master techniques of measurement of concentration of bivalent and trivalent iron and preparation of the modified Fricke's dosimeter;</li> <li>- To investigate applicability of the modified Fricke's dosimeter for a pulse electron beam</li> </ul>
<b>The expected results of the project:</b>	Bias reduction method for determining absorbed dose irradiation of aqueous solutions by pulsed electron beam
<b>Acceptance criteria of project results:</b>	Decrease in values of concentration of the polluting substances Reduction of process duration
<b>Requirements for the results of the project:</b>	<b>Requirements:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compliance to the legislation of the Russian Federation in the field of environmental protection.</li> <li>- Observance of security measures in work with electromagnetic radiation</li> </ul>
	Economic feasibility of process optimization
	Effectiveness of improved technology

## 5.4 Organizational structure of the project

This stage of work reveals participants of the project working group, and a role of each participant in this project. Moreover, the functions which are carried out by each of the participants and their labor cost are defined. This information is provided in Table 5.

Table 5 – Working group of the project

<b>№ p/p</b>	<b>Full name, primary place of employment, position</b>	<b>Role in the project</b>	<b>Functions</b>	<b>Labor costs, hour.</b>
<b>1</b>	Kolokolov D.Y., junior researcher, Laboratory № 1, Institute of High Technology Physics, National research Tomsk Polytechnic University	The head of the project	Activity coordination	160
<b>2</b>	Urazbakhtina L.R., junior researcher, laboratories "Water analysis" of the Institute of Physics and Technology, National research Tomsk Polytechnic University	Expert	Monitoring at implementation of the chemical analysis	100
<b>3</b>	Khodzhamkulova Sh.R., undergraduate departments of the Institute of high-current electronics	Contractor	Implementation of scientific-research work	980
<b>Total</b>				1240

### 5.4.1 Limitations and assumptions of the project

Table 6 lists the factors that can serve as a restriction of the scope of freedom of the project working group.

Table 6- Constraints of the project

<b>Factors</b>	<b>Limitations/assumptions</b>
5. Budget of the project	
1.1 Financial source	National research Tomsk polytechnic university
6. Project terms	15.09.2014-05.06.2016
2.1 Date of the approval of the management plan project	14.04.2016
2.2 Project deadline	05.06.2016

## 5.5 Management planning of the scientific and technical project

The group of planning processes consists of processes and works which are carried out to determine the general content, specifications of the development of sequence of actions demanded for the achievement of these purposes.

The management plan of the scientific project must include the following elements:

### 5.5.1 Hierarchical structures of the project works

*The Hierarchical Structure of Works (HSW)* is the specification of the integrated structure of works. In the course of ISR creation the contents of the whole project are defined and structured. The diagram below presents the hierarchical structure of the project works.

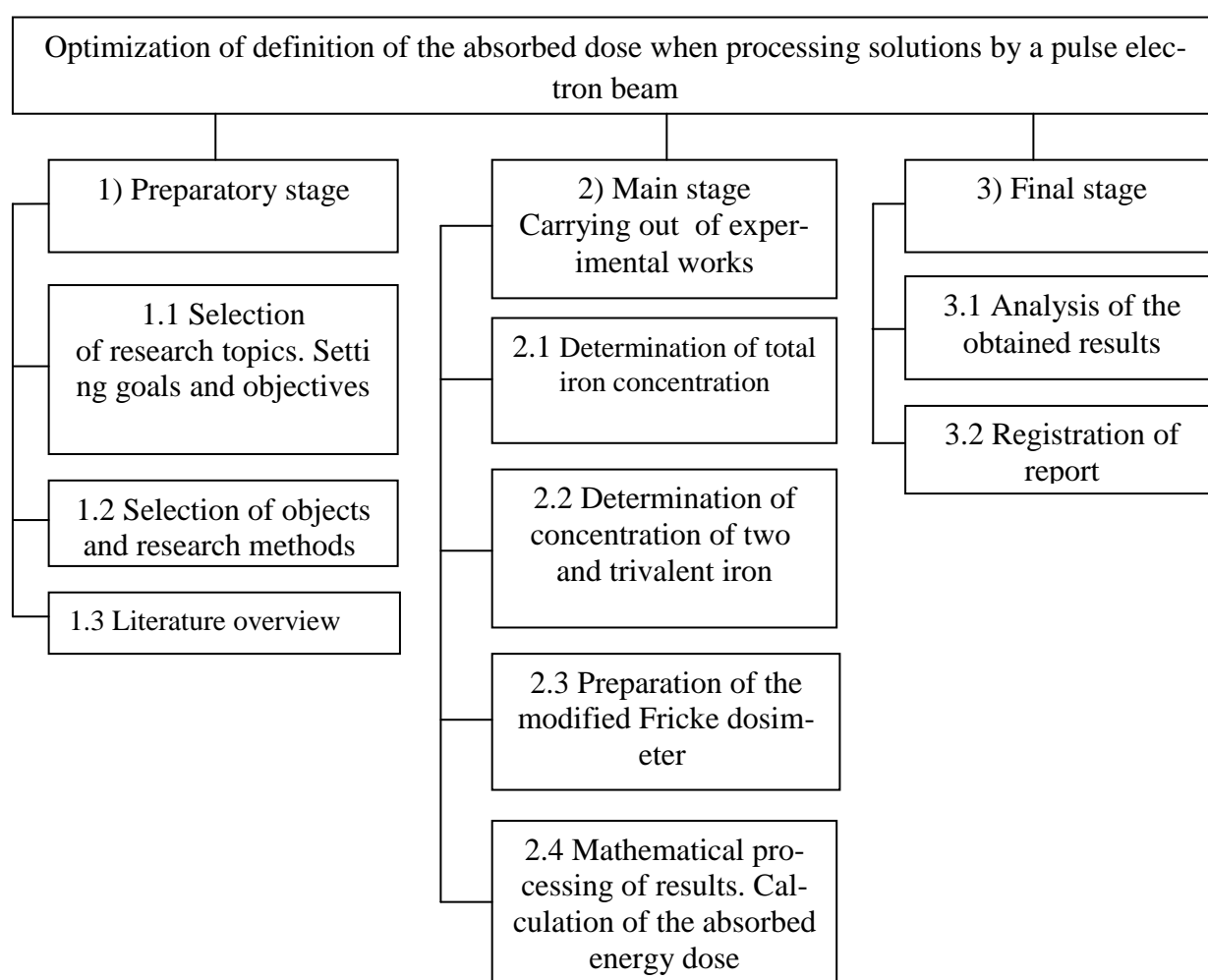


Figure 2-Hierarchical structure of the project

### 5.6 Control events of the project

Within this section, it is necessary to define the key events of the project, to determine their deadlines and results that have to be achieved by the specified dates (Table 7).

Table 7 – Control events of the project

№	Control event	Date	Result (supporting
---	---------------	------	--------------------

p/p			document)
1	Choice of a subject of research work. Statement of the purpose and tasks.	16.09 – 19.09.14	Order
2	Literature overview	28.09 – 17.12.14	Report on scientific-research work
3	Optimization of definition of the absorbed dose when processing solutions by a pulse electron beam	10.02 - 10.06.15	Publications on the topic of research
4	Analysis of the obtained results. Preparation of report	10.05 – 03.06.16	Preprotection

## 5.7 Project plan

While planning the scientific project, you must create the schedule and network graphics project.

A line graph is presented in Table 8.

Table 8 - Project schedule

Work code (from ISR)	Name	Duration, days	Date of beginning of works	Date of completion of works	Attendance (last name of responsible persons)
1.1	Selection of research topics. Setting goals and objectives.	4	16.09.14	19.09.14	D.Y.Kolokolov Sh.R. Khodzhamkulova
1.2	Selection of objects and research methods	10	22.09.14	20.01.16	D.Y.Kolokolov Sh.R. Khodzhamkulova
1.3	Analysis of literature	100	28.09.14	25.03.16	Sh.R. Khodzhamkulova
2.1	Determination of total iron concentration	10	20.02.15	29.04.15	L.R. UrazbakhtinaSh.R. Khodzhamkulova
2.2	Determination of two- and trivalent iron concentration	30	15.10.15	24.12.15	L.R. UrazbakhtinaSh.R. Khodzhamkulova
2.3	Development of the modified Frikke's dosimeter	5	04.04.16	15.04.16	D.Y.Kolokolov Sh.R. Khodzhamkulova
2.4	Mathematical processing of results	15	09.05.16	30.05.16	D.Y.Kolokolov Sh.R. Khodzhamkulova
3.1	Analysis of the obtained results	15	10.05.16	03.06.16	D.Y.Kolokolov Sh.R. Khodzhamkulova
3.2	Preparation of reports on NIR	30	10.02.16	03.06.16	Sh.R. Khodzhamkulova
Total:		219			

Gantt chart is a type of bar charts (histograms), which is used to illustrate the project schedule, in which the work on a certain topic is represented as continuous time lines with start and end dates of the performed works. The works schedule is presented in Table 9.

Table 9 - Calendar schedule of the topic research

Work code (from IS R)	Name	Executor	Duration of works execution											
			September	October	November	December	January	February	March	April	May	June		
1.1	Selection of research topics. Setting goals and objectives.	H												
		M												
1.2	Selection of objects and research methods	H												
		E												
		M												
1.3	Analysis of literature	H												
		M												
2.1	Determination of total iron concentration	H												
		E												
		M												
2.2	Determination of the concentration of two- and trivalent iron	H												
		E												
		M												
2.3	Preparation of the modified Fricke dosimeter	H												
		M												
2.4	Mathematical processing of results	H												
		E												
		M												
3.1	Analysis of the obtained results	H												
		E												
		M												
3.2	Drawing up reports on NIR	M												



Head



Expert



Performer

### 5.8 The budget of the scientific research

The budget of scientific research should account for full and accurate reflection of all the planned expenses required for project implementation.

Calculation of the material inputs costs is performed based on the current price list or negotiated prices. Material costs include transportation and procurement costs (3-5% of the price). The results are given in Table 10.

Table 10 - Raw materials, components and semi-finished products purchased

Name	Quantity	Price per unit, rubles	Total, rubles
Chemical reagents			
Ferrous sulfate (chemically pure) (100 grams)	1kg	230	230
Copper sulphate (pure for analysis), (100 grams)	0.5 kg	250	125
Sulfosalicylic acid (100 grams)	0.2 kg	340	68
GSO Fe <sup>3+</sup> +	1 pill	75	75
Ammonium chloride (100 grams)	0.5 kg	167	83.50
Acetate buffer	1 kg	170	170
O-phenanthroline	0.5 kg	1550	6750
Distilled water	50 l	400	4000
Hydrochloric acid	1 kg	110	110
Sodium chloride	1 l	37	37
Nitric acid	1 l	300	300
Sulphuric acid	1 l	71	71
Aqueous ammonia, 25% solution	1 kg	23	23
Alum ferric	1 kg	376	376
Laboratory glassware			
Conical flask	10	149	1490
Round-flask	10	120	1200
Flat-bottomed flask	10	212	2120
Glass beaker	2	185	370
Flushing devices	5	355	1775
Paper indicator	1	240	240
Filter paper	1	270	270
Gloves	2	50	100
Pear	2	35	70
Measuring hoppers, automatic 1-10 µl	1	2940	2940
Measuring hoppers, automatic 10-100 µl	1	3220	3220
Measuring hoppers, automatic 100-1000 µl	1	4561	4561
10 ml glass pipettes	3	81	243
25 ml glass pipettes	3	105	315
5 ml glass pipettes	3	80	240
2 ml glass pipettes	3	75	225
1 ml glass pipettes	3	75	225
Glass laboratory	4	46	184
Bathrobe laboratory	1	550	550
Total for the materials			32531,5
Transportation and procurement expenses (5%)			1626,58
Total under article of Cm			34158,08

### Special equipment for scientific (experimental) work

This expenditure article includes all costs associated with the acquisition of special equipment (instrumentation, test and measurement equipment, test benches, devices and tools) necessary for work on a particular topic.

Table 11 - Calculation of costs under «Special equipment for the scientific work»

№, п/п	Name of equipment	Number of pieces of equipment	Unit price of equipment, rubles	Total cost of equipment, thou- sands of rubles
1	PE-6100UF Spectrophotometer	1		380000
2	Photokolorimetr of KFK-2	1		77000
Total				457000

All the equipment needed for this work was in the laboratory.

Depreciation charges. The size of depreciation charges is defined proceeding from the initial cost of the equipment and the established limit rates of depreciation specified in the document «Uniform Norms of Depreciation Charges».

Table 12 – Depreciation charges

№ п/ п	Name of equipment	Unit price of equipment, rubles	Lifetime, T, days	Time of op- eration, t, days	$H_A$ depreciat ion rate	Depreciati on charges, rub.
1.	PE-6100UF Spectrophotometer	380000	5 years /1800days	30 days	20%	6333.33
2.	Photokolorimetr of KFK-2	77000	5 years /1800days	6 months / 180 days	20%	2566,67
3.		Total				8900

$$H_a = 1/T \times 100\%, \quad (1)$$

where T – useful life;

$H_A$  – depreciation rate, %

$$H_A = 1/4,9 \times 100\% = 20,41\% \text{ - period of depreciation rate useful life of 5 years;}$$

$$A = C_{o\phi} / T / t, \quad (2)$$

$$A = 380000 / 5 / 12 = 6333,3 \text{ rub.}$$

$$A = 77000 / 5 / 6 = 1283,33 \text{ rub.}$$

### Basic wage



The present expenditure article includes the basic salary of scientific and technical workers, the working model workshop and pilot plants, directly involved in the execution of works on the subject. The amount of salary expenses is determined based on the work complexity and functioning of the payment system. The structure of the basic salary includes bonuses paid monthly from the payroll.

The article of expenditure includes the main salary of workers who are directly engaged in the project implementation (including material bonuses, surcharges) and an additional salary.

$$C_{och} = Z_{och} \cdot Z_{don} \quad (3)$$

where  $Z_{och}$  - main salary;

$Z_{don}$  – additional salary.

Basic salary ( $Z_{och}$ ) of the head (laboratory technician, engineer) must be calculated by the following formula:

$$Z_{och} = Z_{oh} \cdot T_{pab} , \quad (4)$$

where  $Z_{och}$  - the main salary of one worker;

$T_{pab}$  – duration of the works performed by a scientific and technical worker, number of working days;

$Z_{dh}$  – daily average salary of a worker, rub.

The daily average salary is paid off by the formula:

$$Z_{dh} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} , \quad (5)$$

where  $Z_m$  –official monthly salary of a worker, rub;

$M$  – number of months of work without vacation for a year:

while on vacation of 24 working days  $M = 11.2$  months, the 5-day week;

while on vacation of 48 working days  $M = 10.4$  months, 6-day week;

$F_d$  – actual annual fund-time of scientific and technical personnel, working days

Monthly basic salary of the employee:

$$Z_m = Z_6 \cdot (k_{np} + k_d) \cdot k_p , \quad (6)$$

where  $Z_6$  –basic salary, rub;

$k_{np}$  – bonus coefficient, (is defined by the Provision on compensation);

$k_d$  – coefficient of surcharges and allowances (in research institutions and industrial business – for extension of services for professional skills, for hazardous conditions: is determined by the remuneration order);

$k_p$  – regional coefficient equal to 1.3 (for Tomsk),

$3_6 = 25286.24$  rub – basic salary of a head,

$3_6 = 6976$  rub – basic salary of a graduate,

Monthly official salary of a research supervisor:

$3_M = 25286.24 * 1.3 = 32872.112$  rub.

Monthly official salary of a laboratory expert:

$3_M = 14874.45 * 1.3 = 19336.785$  rub.

Monthly official salary of a graduate:

$3_M = 6976 * 1.3 = 9068.8$  rub.

Daily average salary of a research supervisor:

$3_{дн} = 32872.112 / 22 = 1494.187$  rub.

Daily average salary of a laboratory expert:

$3_{дн} = 19336.785 / 22 = 878.945$  rub.

Daily average salary of a graduate:

$3_{дн} = 9068.8 / 22 = 412.2$  rub.

Calculation of the basic salary of employees is given in Table 13.

Table 13- Calculation of basic salary

Executors	$3_6$ , rub.	$k_p$	$3_M$ , rub.	$3_{дн}$ , rub.	$T_p$ working days	$3_{оч.}$ , rub.
Head	25286.24	1.3	32872.11	1494.19	156	233093.17
Executor	6976	1.3	9068.8	412.2	182	41297.62
Expert	14874.45	1.3	19336.785	878.945	164	144146.98

### **Additional salary of research and production personnel**

This expenditure article joins the sum of the payments provided by the labor legislation, for example, payment for regular and additional holidays; payment for time connected with the performance of state and public duties; remuneration payment for long service, etc. (on average – 12% of the sum of the basic salary).

Additional salary is calculated as 10-15% of the basic salary of the workers who are directly engaged in the project implementation:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (7),$$

where  $З_{доп}$  – additional salary, rub.;

$k_{доп}$  – coefficient of additional salary;

$З_{осн}$  – basic salary, rub.

Table 14 shows the form of basic and additional salary calculations.

Table 14-Salary of project performers

Salary	Head	Graduate	Laboratory Expert
Basic salary	233093.17	41297.62	144146.98
Additional salary	23309.317	4129.762	14414.698
Performer's salary	256402.487	45427.382	158561.678
Total Article $C_{3п}$	460391.547		

### Assignments on social needs

The expenditure article includes contributions to extra-budgetary funds. Total percentage of the total insurance deductions is equal to 27.2%.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (8)$$

where  $k_{внеб}$  – the coefficient of deductions to extrabudgetary funds (Pension Fund, mandatory medical insurance fund, etc.).

$$C_{внеб} = k_{внеб} * C_{3п} = 0.272 * 460391.547 = 124305.71769 \text{ rub.}$$

### Overhead costs

This article includes management and commercial service costs, which can be attributed directly to a specific project. In addition, these costs consist of maintenance costs, maintenance and repair of equipment, industrial tools and devices, premises, constructions, etc. These costs are accepted at a rate of 70-90% of the amount of basic salary of the scientific-industrial and technical organization personnel.

Overheads comprise 80-100% of the sum of basic and additional salary of the workers directly involved in project execution.

Calculation of overhead costs is performed by the following formula:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

where  $k_{\text{накл}}$  – coefficient of overhead costs.

$$C_{\text{накл}} = 0.8 * 460391.547 = 368313.2376 \text{ rub.}$$

Based on the obtained data on individual expenditure articles, the planned cost of a Master's thesis is calculated. The calculation results are presented in Table 14.

Table 14-Calculation of the planned costs of Master's project

№, п/п	Name of cost items	Sum, rubles
1	Raw materials, materials, components	32531.5
2	Labor costs of workers who are directly involved in NIOKR creation	460391.547
3	Social contributions	124305.71769
4	Depreciation of equipment	8900
5	Other overhead costs, (80%)	368313.2376
6	Total prime cost of final degree project, rubles	994442.00229

## Приложение Б (справочное)

### Методика определения концентрации трехвалентного железа

#### Определение железа (III) с сульфосалициловой кислотой

(0,10-2,00 мг/л)

Определение основано на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в кислой среде с образованием красного комплекса железа.

#### **Реактивы:**

1. Сульфосалициловая кислота, 20 % раствор:  
20 г реактива растворяют в 100 мл дистиллированной воды.
2. Аммоний хлористый (NH<sub>4</sub>Cl), 2 М раствор:  
10,7 г реактива растворяют в 100 мл дистиллированной воды.
3. Соляная кислота, разбавленная (3:2).

#### **Ход анализа:**

50 мл или меньшее количество анализируемой воды отбирают в колбу на 50мл + 1 мл аммония хлористого (2 М р-р) + 1 мл сульфосалициловой кислоты (20 % раствор) + 0,1 мл соляной кислоты (3:2) → объем пробы доводят до метки → колориметрируют полученный окрашенный раствор при  $\lambda=540\text{нм}$  и толщине кюветы  $l=3\text{см}$ .

#### **РАСЧЕТ:**

$$c = \frac{D - D_0}{\Sigma} * \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{пробы}}} * 56000 \quad (1)$$

где  $c$  – концентрация железа (III), мг/л;

$D, D_0$  – оптическая плотность пробы и холостой пробы соответственно;

$\Sigma$  – коэффициент экстинкции, 4940 л/(моль\*см)<sup>1</sup>;

$V_{\text{колбы}}$  – объем, до которого доводится проба перед колориметрированием, мл;

$V_{\text{пр.}}$  – объем пробы взятый для анализа, мл;

56000 – молекулярный вес железа мг/моль.

---

<sup>1</sup> - Так как измерение оптической плотности при построении калибровочного графика и анализе пробы происходит в одинаковых кюветах, то толщину оптического слоя (в см) не учитываются при расчете концентрации.